

**Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava**

**Fakulta bezpečnostního inženýrství**

**Katedra požární ochrany**

**Vliv používání dýchacích přístrojů na zatížení  
organismu**

**The Influence of Use of Breathing Apparatuses on  
Organism Load**

**Student: Ing. Ladislav Darebník**

**Vedoucí diplomové práce: Ing. Šárka Bernatíková, Ph.D.**

**Studijní obor: Technika požární ochrany a bezpečnost průmyslu**

**Termín odevzdání diplomové práce: 17. 4. 2015**

## Zadání diplomové práce

Student:

**Ing. Ladislav Darebník**

Studijní program:

N3908 Požární ochrana a průmyslová bezpečnost

Studijní obor:

3908T006 Technika požární ochrany a bezpečnosti průmyslu

Téma:

Vliv používání dýchacích přístrojů na zatížení organismu  
The Influence of Use of Breathing Apparatuses on Organism Load

Zásady pro vypracování:

Cíl práce:

Cílem práce je sledování reakce organismu na zátěž záchranářů v důsledku používání dýchacích přístrojů v závislosti na jejich váze a teplotě vdechovaného vzduchu.

Charakteristika práce:

Rešerše v oblasti měření a vyhodnocování reakce osob při používání různých typů dýchacích přístrojů.

Teoretický rozbor používaných dýchacích přístrojů a možnosti jejich použití nejen u hasičů.

Výběr vhodných postupů ke sledování reakce organismu, návrh experimentu.

Realizace experimentálních testů.

Vyhodnocení a porovnání získaných dat.

Seznam doporučené odborné literatury:

ČSN EN 145 Ochranné prostředky dýchacích orgánů - Autonomní dýchací přístroje s uzavřeným dýchacím okruhem s tlakovým kyslíkem nebo se směsí tlakového kyslíku a dusíku - Požadavky, zkoušení a značení.

ČSN EN ISO 7726 Ergonomie tepelného prostředí - Přístroje pro měření fyzikálních veličin.

ČSN EN ISO 7933 Ergonomie tepelného prostředí - Analytické stanovení a interpretace tepelného stresu pomocí výpočtu předpokládané tepelné zátěže.

NUNNELEY SA. Heat stress in protective clothing: interactions among physical and physiological factors.

Scand J Work Environ Health 1989;15(suppl 1):52-57.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Šárka Bernatíková, Ph.D.**

Datum zadání: 13.06.2014

Datum odevzdání: 17.04.2015



Ing. Petr Kučera, Ph.D.  
vedoucí katedry

prof. Ing. Pavel Poledňák, Ph.D.  
děkan fakulty

**Místopřísežné prohlášení:**

*„Místopřísežně prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci vypracoval samostatně.“*

V Ostravě dne 17. 4. 2015



.....  
Ing. Ladislav Darebník

### **Poděkování**

Na tomto místě bych chtěl poděkovat vedoucí mé diplomové práce Ing. Šárce Bernatíkové, Ph.D. za rady, podněty a připomínky v průběhu zpracovávání této diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat příslušníkům HZS Zlínského kraje za spolupráci při experimentálním měření, jakož i pracovníkům OKD, HBZS, a.s. Na závěr bych chtěl poděkovat mé přítelkyni Bc. Marii Ošťádalové za podporu při studiu.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- jsem byl/a seznámen/a s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. O právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů;
- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby <sup>1)</sup>;
- beru na vědomí, že diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava (dále jen VŠB – TUO), dostupná k prezenčnímu nahlédnutí;
- beru na vědomí, že VŠB – TUO má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít v souladu s § 35 odst. 3 <sup>2)</sup>;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 1 autorského zákona má právo VŠB – TUO na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem VŠB – TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB – TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého VŠB – TUO nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Jméno, příjmení: Ing. Ladislav Darebník

Adresa: Pacetluky 34

Dne: 17. 4. 2015

Podpis .....



1) zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevýdělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

2) zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

3) zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výtvarného díla jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlídně k výši výtvarného díla dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

## ANOTACE

DRAEBNÍK, L., *Vliv používání dýchacích přístrojů na zatížení organismu*, Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta bezpečnostního inženýrství, Katedra požární ochrany a bezpečnost průmyslu, 54 s., Diplomová práce, vedoucí práce: Ing. Šárka Bernatíková, Ph.D.

Klíčová slova: fyziologické parametry, dýchací přístroj, zatížení organismu, tepelná zátěž

Tato diplomová práce je zaměřena na zjištění reakce organismu v důsledku používání různých typů dýchacích přístrojů. Úvod práce je věnován vybraným oblastem fyziologie lidského těla, kde hlavním cílem je pochopit princip fungování lidského těla. V práci jsou také rozděleny a popsány různé druhy dýchacích přístrojů. Je zde popsán postup provedení měření při experimentu. V závěru práce jsou vyhodnocena naměřená data pro oba typy dýchacích přístrojů.

Cílem této práce bylo zjistit odezvu vybraných fyziologických ukazatelů a subjektivní hodnocení pokusných osob při použití kyslíkového a vzduchového dýchacího přístroje. Tyto získané hodnoty z experimentu jsou porovnávány a vyhodnoceny mezi sebou.

## ANNOTATION

DRAEBNÍK, L., *The Influence of Use of Breathing Apparatuses on Organism Load*, Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Safety Engineering, Department of Fire Protection and Safety Industry, 54 p., Thesis, Supervisor: Ing. Šárka Bernatíková, Ph.D.

Keywords: physiological parameters, respirator, load organism, thermal load

This diploma thesis focuses on human organism response to use different type of breathing apparatuses. Selected areas of human physiology are described in the introduction of the thesis. Different types of breathing apparatuses are described and its dividing is also mentioned. Measuring procedure during the experiment is described in the next part of the paper. Measured data evaluation for both types of breathing apparatuses is written in the thesis conclusion.

Assessment of selected physiological indicators response and subjective evaluation of the subjects during using oxygen and air breathing apparatus was the aim of the study. The values obtained in the experiment are compared and evaluated with each other.

# Obsah

Seznam použitých zkratk a symbolů .....	1
1. Úvod .....	2
2. Rešerše .....	3
3. Atmosféra .....	4
4. Fyziologie člověka .....	5
4.1 Fyziologie dýchání .....	5
4.1.1 Vnější dýchání .....	5
4.1.2 Vnitřní dýchání .....	7
4.2 Změny v organismu při fyzické zátěži .....	7
4.2.1 Reakce kardiovaskulárního systému .....	8
4.2.2 Reakce dýchacího systému .....	8
4.3 Reakce lidského těla na nedostatek a přebytek kyslíku .....	9
4.3.1 Hypoxie .....	9
4.3.2 Hyperoxie .....	10
4.4 Tepelné hospodaření organismu .....	11
4.4.1 Výměna tepla radiací .....	12
4.4.2 Výměna tepla kondukcí .....	13
4.4.3 Vedení tepla konvekcí .....	13
4.4.4 Ztráta tepla evaporací .....	13
4.4.5 Termoregulace .....	13
5. Rozdělení dýchacích přístrojů .....	15
5.1 Filtrační dýchací přístroje .....	15
5.1.1 Pracovní dýchací přístroje .....	17
5.1.2 Filtry .....	17
5.1.3 Vyváděcí dýchací přístroje .....	19
5.2 Neautonomní dýchací přístroj .....	19
5.3 Rovnotlaký vzduchový dýchací přístroj .....	20
5.4 Přetlakový vzduchový dýchací přístroj .....	21
5.5 Kyslíkové dýchací přístroje .....	22
5.5.1 Kyslíkový dýchací přístroj s tlakovým kyslíkem .....	22
5.5.2 Kyslíkový dýchací přístroj s chemicky vázaným kyslíkem .....	24
6. Experimentální měření .....	26
6.1 Experimentální podmínky .....	26



6.1.1 Časový harmonogram experimentu .....	26
6.2 Pokusné osoby .....	27
6.2.1 Oděv pokusných osob .....	27
6.2.2 Typy dýchacích přístrojů .....	27
6.2.3 Pracovní zátěž .....	28
6.3 Metody vyšetření pokusných osob .....	28
6.3.1 Měření fyziologických parametrů .....	28
6.4 Dotazník subjektivních pocitů .....	32
7. Výsledek měření .....	33
7.1 Nitrotělní teplota .....	34
7.2 Teplota kůže .....	36
7.3 Ztráta tělesné hmotnosti .....	38
7.4 Srdeční frekvence .....	39
7.5 Dotazník subjektivních pocitů .....	41
8. Vyhodnocení .....	42
9. Závěr .....	43
10. Literatura .....	44
Seznam obrázků .....	46
Seznam tabulek .....	47
Seznam grafů .....	48
Seznam příloh .....	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>
PŘÍLOHA A: Chemický řád .....	49
PŘÍLOHA B: Průběh teploty kůže .....	52
PŘÍLOHA C: Průběh srdeční frekvence .....	54

## Seznam použitých zkratek a symbolů

### České zkratky

HZS ČR	Hasičský záchranný sbor České republiky
NL	Nebezpečné látky
HBZS	Hlavní Báňská Záchranná Stanice
NV	Nařízení vlády
ČSN	Česká státní norma
EN	Evropská norma
ISO	Mezinárodní organizace pro normalizaci
Sb.	Sbírka zákonů

### Symbols

$V_T$	[ l ]	dechový objem
$IRV$	[ l ]	rezervní inspirační objem
$ERV$	[ l ]	rezervní expirační objem
$RV$	[ l ]	reziduální objem
$SF_{max}$	[ puls·min <sup>-1</sup> ]	maximální srdeční frekvence
$\dot{Q}_{vypr}$	[W]	vnitřní tepelná produkce v lidském těle
$\dot{Q}_{kd}$	[W]	tepelný tok vedením (kondukcí)
$\dot{Q}_k$	[W]	tepelný tok prouděním (konvekcí)
$\dot{Q}_s$	[W]	tepelný tok sáláním (radiací)
$\dot{Q}_a$	[W]	tepelný tok odváděný dýcháním
$\dot{Q}_w$	[W]	tepelný tok vyvolaný vypařováním
$\dot{Q}_a$	[W]	tepelný tok akumulovaný v těle

## 1. Úvod

Náplň práce profesionálních hasičů je v očích veřejnosti spjata především se záchranou lidí, zvířat a majetku. Tato práce je často fyzicky, ale i psychicky náročná. Je zřejmé, že ne každý může vykonávat tuto činnost.

Práce je pro zasahující hasiče velmi náročná především při používání dýchací techniky. Dýchací technika je využívána v situacích, kdy je nutná ochrana dýchacích cest – například při požárech nebo při úniku nebezpečných látek. Používání dýchacího přístroje je spojeno nejen s větší fyzickou zátěží, ale i s tepelnou zátěží. Práce s dýchacím přístrojem, která je spojena i s vysokými teplotami, klade na organismus vysoké nároky. Zjistit zda se při této práci jedná pouze o nepříjemný pocit, nebo už o stav ohrožující zdraví a život, není snadné.

U HZS ČR jsou používány vzduchové dýchací přístroje, oproti tomu v HBZS se především používají kyslíkové dýchací přístroje. Rozdíl mezi těmito typy dýchacích přístrojů je, jak je známo, významný. Nejčastěji řešeným problémem u těchto dýchacích přístrojů je jejich časové využití a rozdílná teplota vdechovaného vzduchu.

Problematika fyziologie zátěže zasahujících hasičů je již dlouho studována. Proto je tato diplomová práce zaměřena na zjištění reakce organismu v důsledku používání různých typů dýchacích přístrojů. Pomocí experimentálního měření je zjišťováno zatížení organismu zasahujících hasičů. Tento experiment je proveden právě s použitím kyslíkového dýchacího přístroje a s použitím vzduchového dýchacího přístroje.

## 2. Rešerše

Cílem této rešerše bylo provést průzkum odborných vědeckých publikací a vytvořit přehled o dostupných informacích z oblasti fyziologie člověka při (fyzické/tepelné) zátěži.

Literatura [1] popisuje zvýšení energetického výdeje a příjmu kyslíku při zvyšující se fyzické zátěži. Základní literaturou použitou při vypracovávání této diplomové práce byla publikace [2], která uvádí základní informace o reakci lidského organismu na fyzickou a psychickou zátěž. Dále seznamuje s různými metodami používanými při měření a hodnocení zátěže člověka. Norma [13] popisuje metody měření a interpretaci vybraných fyziologických parametrů.

Zahraniční literatura [11] se zabývá problematikou práce v ochranném oděvu. Zaměřuje se především na používání ochranných oděvů u hasičů. Pokusné osoby byly hasiči v dýchacích přístrojích a protichemickém oděvu. Měření bylo prováděno jak v dýchacím přístroji s ochranným oblekem, tak i ve sportovním oděvu bez dýchacího přístroje. Hasiči byli sledováni při chůzi na běžeckém trenažéru a na nekonečném žebříku. Obdobným výzkumem se zabývala i literatura [12]. Avšak tyto experimenty jsou provedeny v laboratorních podmínkách.

Oproti tomu literatura [12] se zabývá problematikou z jiného úhlu. Vybraní hasiči byli vybaveni záznamovým zařízením, které nahrálo jejich fyziologické parametry v průběhu celé služby.

Doba použití kyslíkových dýchacích přístrojů je uvedena v literatuře [8]. Tato doba byla určena pomocí experimentálního měření v Polsku, kde pokusnými osobami byly bábští záchranáři. Experiment byl prováděn při různých zátěžích o různé teplotě a vlhkosti. Výsledkem této literatury bylo stanovení bezpečné doby při použití čtyř různých typů kyslíkových dýchacích přístrojů.

Souhrnně lze říci, že výzkumy zabývající se fyziologií zátěže organismu hasičů jsou prováděny především v Německu. V České republice tomuto problému není zatím věnována velká pozornost. Touto problematikou se především zabývá Prof. MUDr. Zdeněk Jiráček z Ostravské univerzity Ostrava.

### 3. Atmosféra

Atmosféra je vrstva plynu obklopující zemi. Je procentuálně složena ze 78 % objemu dusíku, 21 % objemu kyslíku a zbývajících 1 % objemu tvoří plyny (viz tab. 1). V ovzduší se nacházejí další složky, jako je voda a pevné částice – led, prach, pyly, drobná písečná zrna atd. Objemová koncentrace těchto plynů v ovzduší není všude stejná a závisí na mnoha faktorech – ročním období, nadmořské výšce, povětrnostních podmínkách, ale také i na zástavbě či průmyslu v dané lokalitě.

Stejně proměnlivý je i atmosférický tlak. Se stoupající nadmořskou výškou atmosférický tlak klesá. Atmosférický tlak dosahuje nejvyšších hodnot na úrovni hladiny moře (standardní atmosférický tlak) – tlak 101325 Pa, teplota 15 °C, hustota vzduchu 1,225 kg/m<sup>3</sup> a tíhové zrychlení 9,81m/s<sup>2</sup>.

**Tabulka 1. Složení dýchacího ovzduší [2]**

<b>Plynná složka</b>	<b>Složení v obj. %</b>	<b>Složení v hm. %</b>
dusík	78,09	75,51
kyslík	20,95	23,15
argon	0,93	1,28
oxid uhličitý	0,03	0,046
neon	0,0018	0,00125
helium	0,00052	0,000072
metan	0,00022	0,00012
krypton	0,0001	0,00029
oxid dusný	0,0001	0,00015
vodík	0,00005	0,000003
xenon	0,000008	0,000036

## 4. Fyziologie člověka

Fyziologie člověka je věda, která se zabývá studiem lidského organismu. Jejím hlavním cílem je pochopit princip fungování lidského těla.

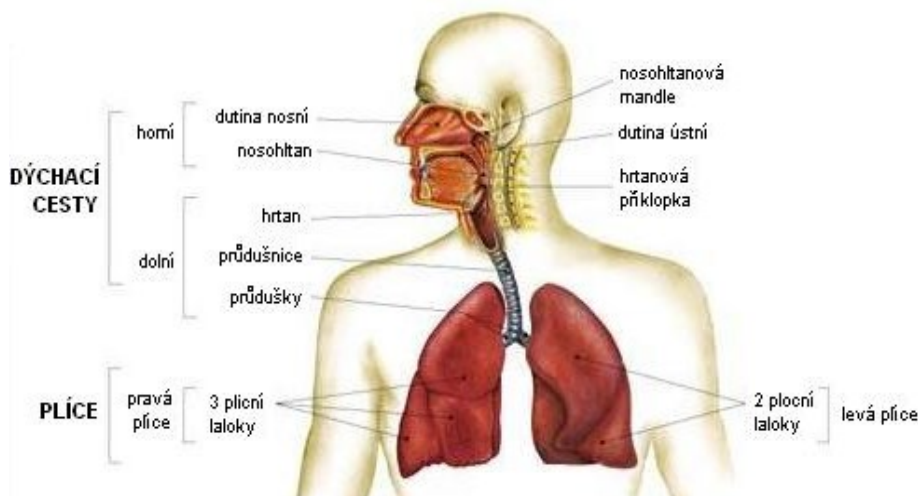
### 4.1 Fyziologie dýchání

Dýchání je jednou z hlavních životních funkcí lidského organismu. Je nezávislé na vědomí a vůli člověka, ačkoliv je možné záměrně měnit dechovou frekvenci. Centrum dýchání se nachází v mozku (konkrétně v prodloužené míše), a podle potřeby mění frekvenci dýchacích pohybů. Dýchací cesty se dělí na (viz obr. 1):

Horní cesty dýchací - dutina ústní, dutina nosní, nosohltan,

Dolní cesty dýchací - hrtan, průdušnice (trachea), průdušky (bronchy), průdušinky (bronchioly),

Plíce – pravá plíce, levá plíce, plicní sklípky (alveoly).



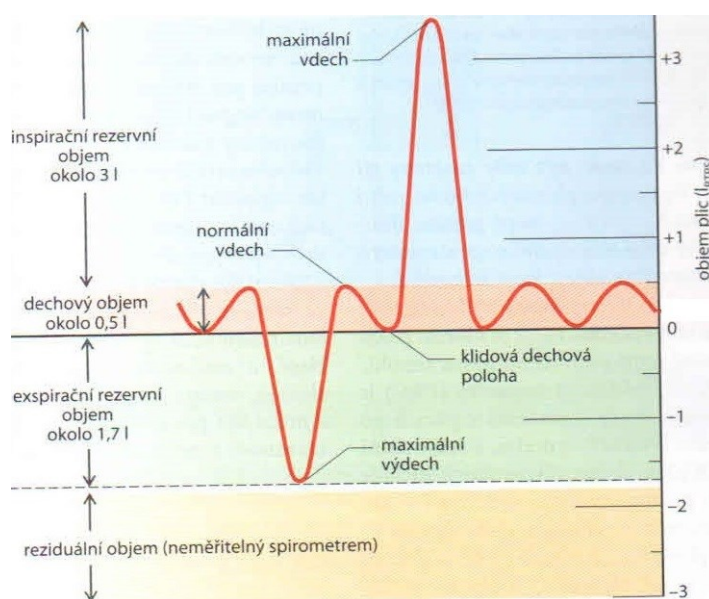
Obrázek 1. Dýchací cesty [5]

#### 4.1.1 Vnější dýchání

Při vnějším dýchání se vyměňuje vzduch mezi okolní atmosférou a plicními sklípky (alveoly). Vzduch vstupuje do dýchacích cest nosem nebo ústy. Dále pokračuje hltanem, kde dochází ke křížení dýchacích a trávicích cest, přes hrtan do průdušnice, průdušek, průdušinek a až do plicních sklípků.

Vzduch se v dýchacích cestách zbavuje většiny mechanických nečistot zachytáváním ve vrstvičce hlenu, kterým je epitel dýchacích cest povlečen. Řasinky epitelu dýchacích cest svým kmitáním hlen i se zachycenými nečistotami neustále posunují do faryngu, kde je hlen i s nečistotami polknut nebo vykašlán. Lymfatická tkáň v dýchacích cestách vytváří bariéru proti vniknutí infekce do organismu. Teplota vdechovaného vzduchu se zde upravuje na tělesnou teplotu a vzduch se zvlhčuje. [6]

Při klidném dýchání se každým vdechem a výdechem vymění v plicích 0,5 l vzduchu ( $V_T$ ), přičemž frekvence dýchání je 16 – 20 vdechů za minutu. Při usilovném vdechu je možné nasát 3 l vzduchu, tzv. rezervní inspirační objem (IRV). Po ukončení klidového výdechu lze vydechnout ještě asi 1,7 l vzduchu, tzv. rezervní expirační objem (ERV). Ani po usilovném výdechu nejsou plice prázdné, ale obsahují ještě 1,2 l vzduchu – reziduální objem (RV).



Obrázek 2. Objem plic [7]

Vitální kapacita plic – je množství vzduchu, které můžeme maximálním úsilím vydechnout po maximálním nádechu.

$$VC = V_T + IRV + ERV \quad 4.1$$

Celková plicní kapacita

$$TCL = VC + RV = V_T + IRV + ERV + RV \quad 4.2$$

Součástí dechového objemu je i mrtvý prostor. Mrtvý prostor je objem vzduchu, který se nachází v dýchacích cestách, a na výměně dýchacích plynů se přímo nepodílí. Tento objem činí u průměrného dospělého muže asi 150 – 200 ml. Mrtvý prostor se zkrátí při zrychlení vdechu. U krátkého vdechu vede k ochuzení organismu o kyslík, a dochází tak k tzv. dýchací krizi.

Fyziologicky správná technika dýchání z plicní automatiky spočívá v pomalém hlubokém nádechu, po kterém bez prodlevy následuje pomalý a důsledný výdech. Zadržování dechu před zahájením výdechu nelze v žádném případě doporučit, protože vede k nadměrnému hromadění  $\text{CO}_2$  v organismu! [3]

#### 4.1.2 Vnitřní dýchání

Vnitřní dýchání představuje rozvod kyslíku získaného ze vzduchu z plicních sklípků krevním oběhem k jednotlivým buňkám všech tkání lidského organismu. V plicních sklípcích, které jsou obetkány velkým množstvím cév, se kyslík navazuje na hemoglobin. Kyslíkem nasycené krvinky pronikají do všech tkání a orgánů v těle, kde se v kapilárách (úzký prostor pro průchod pouze jedné krvinky 0,03 mm) dostávají do kontaktu s jednotlivými buňkami všech tkání v lidském těle. [5]

Zde nastává látková výměna. Kyslík se dostává z krve do tkání a oxid uhličitý z tkání do krve. Červené krvinky pak odnášejí oxid uhličitý žilním systémem zpět do plic, kde výměna plynů začíná znova tím, že oxid uhličitý je plícemi vydechován do volné atmosféry a na hemoglobin se váže kyslík z nadechnutého vzduchu. Při celém procesu se uvolňuje teplo, což způsobuje tělesnou teplotu 36,5 °C. Při zvýšené zátěži organismu se zvedá dechová frekvence, tím dochází k rychlejší látkové výměně v organismu a tělesná teplota se zvýší. Tento koloběh se stále opakuje. [5]

#### 4.2 Změny v organismu při fyzické zátěži

Zvýšení tělesné námahy má vliv na zvyšování nároků na funkci organismu za daných podmínek. Především stoupá náročnost na dodávání kyslíku, čímž je zatěžován oběhový a dechový systém.



#### 4.2.1 Reakce kardiovaskulárního systému

Při fyzické zátěži roste spotřeba kyslíku, která se může při maximální práci zvýšit až desetkrát oproti klidovým hodnotám. Zvýšené požadavky svalů na kyslík jsou kryty zvýšeným průtokem krve a zvýšením minutového výdeje. U netrénovaných jedinců se minutový výdej krve může zvýšit až na  $20 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ . Zvýšení minutového výdeje se děje zvýšením srdeční frekvence a tepového objemu. Srdeční frekvence při maximální zátěži stoupá k maximálním hodnotám (vzorec 4.3) a u netrénovaných osob dosahuje až hodnot 180 - 200 tepů za minutu. Maximálních hodnot tepového objemu je však dosaženo už při cca 180 tepech za minutu a další zvyšování srdeční frekvence nevede ke zvyšování tepového objemu, ale naopak k jeho snížení kvůli nedostatečnému plnění srdečních komor krví. Z tohoto důvodu je nutno práci přerušit, protože srdce není nadále schopno vykonávat takovou zátěž. Naproti tomu při práci nízké až střední intenzity je brzy dosaženo nové hodnoty srdeční frekvence - konstantní hodnoty, a proto může být zátěž této intenzity vykonávána déle.

$$SF_{max} = 220 - \text{věk (roky)} \quad 4.3$$

#### 4.2.2 Reakce dýchacího systému

Dýcháním se zajišťuje přísun potřebného množství kyslíku do těla. Při fyzické zátěži dochází ke zvýšení spotřeby kyslíku. Proto organismus na tento impuls zvýší minutovou ventilaci (zrychlením frekvence dýchání). Při klidových hodnotách se minutová ventilace pohybuje kolem  $7,5 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ , zato maximální okolo 90 až  $120 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ . Spotřeba kyslíku při fyzické zátěži nemůže stoupat do nekonečna, ale stoupá do určité míry, tzv. kyslíkového stropu. Tato hranice je označována jako maximální aerobní kapacita  $VO_{2max}$  a je definována jako maximální množství kyslíku za minutu. Při pokračování ve fyzické zátěži se spotřeba kyslíku nezvyšuje, ale nastupuje anaerobní metabolismus.

Při fyzické zátěži je nutné vycházet z předpokladu, že tělo není schopné zajistit přívod potřebného množství kyslíku ke svalům okamžitě. Při středně těžké práci trvá 3 - 4 minuty, než se zvýší přívod kyslíku z klidových hodnot. Počáteční nedostatek kyslíku, tzv. kyslíkový dluh, je postupně uhrazen po ukončení dané zátěže.

### 4.3 Reakce lidského těla na nedostatek a přebytek kyslíku

Kyslík je plyn nezbytný pro život, ale také je to plyn životu nebezpečný. Lidské tělo v tělesném klidu spotřebuje cca 250 ml kyslíku za minutu (vystačí asi na 5 minut), a až desetkrát více při fyzické zátěži. Při standartním atmosférickém tlaku je koncentrace kyslíku 20,95% a parciální tlak kyslíku je 21 kPa. Při nízkých koncentracích kyslíku může nastat hypoxie, a naopak při vyšších koncentracích kyslíku může nastat hyperoxie.

#### 4.3.1 Hypoxie

Je nedostatek kyslíku v buňkách jednotlivých tkání – nedostatečné okysličování. Hypoxie nastává ve vysokých nadmořských výškách nebo při běžných onemocněních.

Nedostatek kyslíku může nastat v těchto případech:

- nedostatek kyslíku v dýchací směsi,
- nadbytek oxidu uhličitého v dýchací směsi,
- zástava nebo omezení ventilace plic (hypoventilace) - vdechnutí cizího předmětu, sražený hrudník, šok,
- nemoc dýchacích orgánů – otok plic, zaprášení,
- porucha krevního oběhu,
- nasycení krve – při otravě oxidem uhelnatým, který vykazuje vyšší afinitu k hemoglobinu než kyslík.

Hypoxie se projevuje těmito příznaky:

- rozjařenost nebo naopak otupělost, ospalost, snížená koordinace pohybů,
- pocit sebejistoty,
- pocit nepohodlí,
- zrychlení srdečního tepu,
- snížení krevního tlaku,
- centrální cyanóza a zmodrání rtů, kůže a nehtových lůžek.

Snížení parciálního tlaku kyslíku ve vzduchu pod hranici 10 kPa způsobuje bezvědomí, pod 6 kPa nastává smrt (viz. Tab. 2). [5]

**Tabulka 2. Limity parciálních tlaků kyslíku [15]**

Přehled významných hodnot zatížení kyslíkem	
6 kPa	kóma nebo smrt
10 kPa	bezvědomí
12 kPa	těžká hypoxie (člověk má tendenci hyperventilovat, což situaci zhoršuje)
16 kPa	lehká hypoxie (člověk má pocit, že nemá dostatek vzduchu)
21 kPa	normální vzduch
35 kPa	hranice saturačního potápění
40 kPa	hranice trvalého zatížení kyslíkem
50 kPa	hranice saturačního potápění během 24 hodin
140 kPa	doporučená hranice pro zatížení kyslíkem v optimálních podmínkách
150 kPa	hranice pro pracovní potápěče při střední zátěži
160 kPa	konečný limit pro zatížení kyslíkem při optimálních podmínkách - důrazně se doporučuje nepřekračovat
280 kPa	léčba v barokomoře při potápěčských nehodách
300 kPa	téměř jistá akutní smrt

#### 4.3.2 Hyperoxie

Je otrava přebytkem kyslíku. Hyperoxie se dělí na formu chronickou a akutní.

Chronická forma je pomalý způsob otravy, která postihuje plíce, sliznice dýchacích cest a dýchacích orgánů. Při poměrně dlouhodobém dýchání kyslíku (minimálně 1 den), vzniká otok plic, který může také nastat při parciálním tlaku kyslíku na hranici 50 kPa.

Akutní forma je rychlá (desítky minut), o vysokém parciálním tlaku (vyšší než 160 kPa – viz Tab. 2).

Hyperoxie se projevuje těmito příznaky:

- sucho v krku,
- dráždění ke kašli, dušnost,
- záškuby rtů a svalů v obličeji,

- smyslové poruchy,
- zvracení, závratě,
- tunelové vidění,
- křeče končetin,
- epileptický záchvat,
- bezvědomí.

#### 4.4 Tepelné hospodaření organismu

Člověk patří k teplokrevným živočichům, jejichž tělesná teplota je na konstantní hodnotě i při různé teplotě vnějšího prostředí. To se však týká pouze nitra těla, které má teplotu jádra 37 °C. Naopak obal těla - končetiny a kůže, se chovají studenokrevně. Proto rozeznáváme teplotu tělesného jádra a teplotu povrchu těla.

Normální tělesná teplota u zdravého člověka kolísá v rozmezí 36,0 – 37,0 °C. Teplotu mezi 37,0 až 37,9 °C označujeme jako subfebrilní, nad 38 °C horečkou a v rozmezí 40,0 až 41,0 °C jako hyperpyrexní. Teplota pod 36,0 °C je označována jako subnormální. [6]

Udržování stálé teploty jádra je možné tehdy, jestliže produkce a příjem tepla jsou v rovnováze s výdejem (ztrátami) tepla [7], viz rov. 4.3.

$$\dot{Q}_{vypr} = \pm \dot{Q}_{kd} \pm \dot{Q}_k \pm \dot{Q}_s \pm \dot{Q}_d \pm \dot{Q}_w \pm \dot{Q}_a \quad 4.4$$

kde:

$\dot{Q}_{vypr}$  je vnitřní tepelná produkce v lidském těle [W]

$\dot{Q}_{kd}$  je tepelný tok vedením (kondukcí) [W]

$\dot{Q}_k$  je tepelný tok prouděním (konvekci) [W]

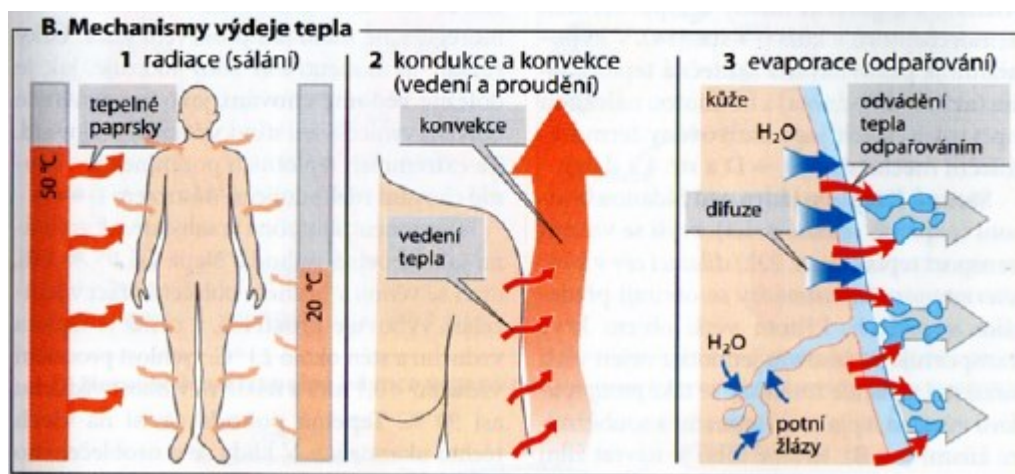
$\dot{Q}_s$  je tepelný tok sáláním (radiací) [W]

$\dot{Q}_d$  je tepelný tok odváděný dýcháním [W]

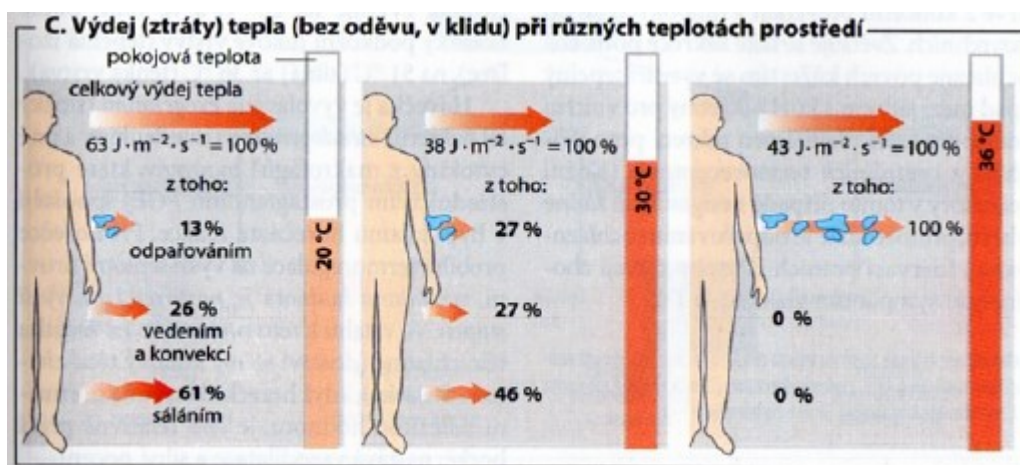
$\dot{Q}_w$  je tepelný tok vyvolaný vypařováním [W]

$\dot{Q}_a$  je tepelný tok akumulovaný v těle [W]

Výdej tepla do prostředí je u člověka uskutečňován povrchem těla, a to radiací 60 %, evaporací 22 %, konvekcí 15 %, kondukcí, dýcháním a močí 3 %.



Obrázek 3. Mechanický výdej tepla [7]



Obrázek 4. Výdej tepla při různých teplotách prostředí [7]

#### 4.4.1 Výměna tepla radiací

Je proces, kdy povrch těla nepřetržitě emituje teplo ve formě elektromagnetického vlnění (infrachervené tepelné paprsky o vlnové délce 5 – 20 mm). Tyto paprsky vyzařují simultánně i všechny okolní předměty. [6]

Zda tělo získává nebo ztrácí teplo pomocí radiace, závisí především na rozdílu teploty mezi pokožkou a předmětem v okolí. Přenos tepla radiací se vždy děje z teplejšího objektu na chladnější. Tím může tělo teplotu získávat nebo i ztrácet.

#### 4.4.2 Výměna tepla kondukcí

Je jednoduchý přenos tepelné energie, který se uskutečňuje přímým kontaktem s předměty (včetně vzduchu), mající rozdílnou teplotu. Účinnost je malá, neboť po ohřátí předmětu (vyrovnání teploty) se ztrácí gradient a další vedení neprobíhá. [6] Teplo se pohybuje z teplejšího do chladnějšího objektu.

#### 4.4.3 Vedení tepla konvekcí

Je obecný pohyb molekul plynů nebo kapaliny z místa s určitou teplotou do místa o jiné teplotě. Tento proces je bezprostředně spojen s procesem kondukce tak, že ohřátý vzduch (nebo voda) v těsné blízkosti těla je vyměňován za chladnější. Teplý vzduch je lehčí a stoupá samovolně, nebo může být vyměňován i vnější silou (vítr, ventilátor apod.). Při absenci konvekce by bylo vedení do vzduchu zanedbatelné. [6]

#### 4.4.4 Ztráta tepla evaporací

Dalším důležitým způsobem přenosem tepla je odpařování vody z těla. Odpařovaná voda vstupuje na povrch kůže jednak difuzí ale i nervově řízenou činností potních žláz. Při odpaření 1 g vody ztrácí organismus 2,5 kJ. Jedná se o kontinuální proces, který neustále probíhá - představuje 600 ml za den, a ztrátu 1200 kJ za den.

V okamžiku, kdy teplota prostředí je vyšší než teplota organismu, je jediným možným způsobem, jak se zbavit tepla odpařování potu. Jakýkoliv způsob znemožňující odpaření potu vede k přehřátí organismu. Důležitým faktorem ovlivňujícím pocení je relativní vlhkost vzduchu. V suchém vzduchu může přežít člověk expozici teplotě 130°C po dobu 20 minut. Ve vlhkém vzduchu je teplota 46°C snesitelná pouze několik minut. [6] Viz obr. 3 a 4.

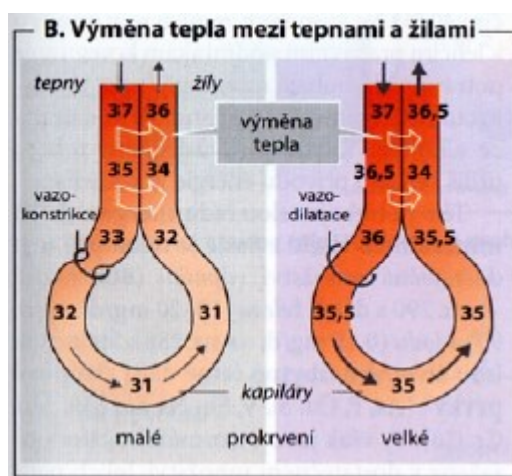
#### 4.4.5 Termoregulace

Úkolem termoregulačních mechanismů je udržovat teplotu tělesného jádra na konstantní hodnotě, a to i při stálém kolísání příjmu, tvorby a výdeje tepla. [7] Bez termoregulace by se zvětšovala teplota těla o 1 °C za hodinu. Při tělesné námaze se teplota těla mnohonásobuje, a vede k vzestupu teploty o 5 °C za hodinu.

Pro řízení tělesné teploty hraje důležitou roli hypotalamus, kde se nacházejí centrální termoreceptory, které regulují teplotu jádra. Informace o teplotě dále přicházejí z páteřní míchy a z termoreceptorů v kůži. V hypotalamu je pak provedena analýza mezi skutečnou teplotou jádra a náležitou hodnotou, která je "nastavena", aby byla udržována. Pokud jsou zachyceny odchylky mezi těmito dvěma teplotami, jsou aktivovány termoregulační mechanismy, které tento rozdíl minimalizují.

Stoupá-li teplota jádra vlivem teplého prostředí nebo produkcí metabolického tepla nad žádanou teplotu, zvýší se vnitřní transport tepla. Tato reakce se v literaturách nazývá vazodilatace, periferní cévy se dilatují (rozšiřují), viz obr. 5. To vede ke zvyšování průtoku krve kůží, kde je teplo odváděno do okolního prostředí. Při stálém růstu teploty dochází k pocení (vypařování). Tím dochází k ochlazování tělesného povrchu. Při nedostatečném odvodu tepla těmito mechanismy, vzrůstá teplota tělesného jádra.

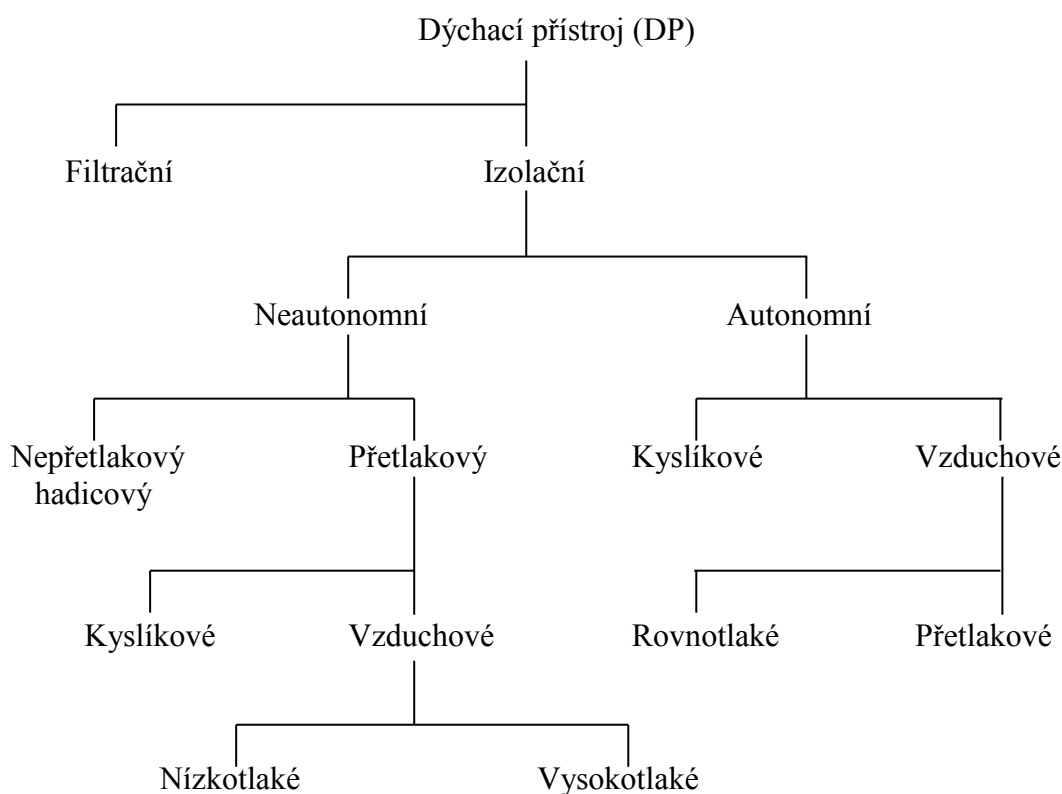
Klesá-li tělesná teplota jádra pod náležitou hodnotu, dochází k tzv. vazokonstrikci, viz obr. 5. Výsledkem je snížení průtoku krve povrchovými vrstvami kůže, a tím stoupá teplota jádra.



Obrázek 5. Výměna tepla mezi tepnami a žilami [7]

## 5. Rozdělení dýchacích přístrojů

Dýchací přístroj je ochranný prostředek dýchacích cest, který umožňuje dýchání uživatele v prostorách, kde je ovzduší jinak nedýchatelné. [5] Takové nedýchatelné ovzduší se nejčastěji vyznačuje nízkým parciálním tlakem kyslíku, nebo vysokým obsahem znečišťujících látek - mechanických, toxických, infekčních a radioaktivních. Délka pobytu v takovémto nebezpečném ovzduší (prostředí), závisí především na kapacitě tlakové láhve dýchacího přístroje, nebo na sorbční kapacitě ochranných filtrů. Nejčastěji se dýchací přístroje rozdělují do skupin podle obr. 6.



Obrázek 6. Schéma rozdělení dýchacích přístrojů

### 5.1 Filtrační dýchací přístroje

Mezi filtrační ochranné prostředky se řadí ochranné roušky, filtrační polomasky proti částicím (respirátory), plynům nebo proti plynům a částicím, ústenky, čtvrtmasky, polomasky a obličejové masky s filtrem.



U HZS ČR je nejvýznamnějším filtračním ochranným prostředkem filtrační dýchací přístroje, které jsou tvořeny obličejovou maskou a filtrem. Proto se dále v této diplomové práci nebudu zabírat ostatními filtračními prostředky.

Filtrační dýchací přístroj je ochranný prostředek, který filtruje vdechovaný vzduch. Tento ochranný prostředek je s nuceným přívodem vzduchu nebo bez nuceného přívodu vzduchu. Filtrační prostředek s nuceným přívodem vzduchu pracuje na takovém principu, že dodává vzduch do dýchacích cest pomocí ventilátoru, většinou neseného samotným uživatelem, viz obr. 7.



**Obrázek 7. Filtračně - ventilační jednotka s maskou [17]**

Nadechovaný vzduch se čistí přes filtry, které odstraňují nebezpečné látky, které jsou přítomny ve vzduchu. Tyto filtrační dýchací přístroje neizolují uživatele od okolního prostředí, pouze filtrují znečištěný vzduch. Takovéto odstranění nebezpečných látek dělá vzduch pro člověka dýchatelným. Při nádechu znečištěný vzduch prochází přes filtr a při výdechu je vzduch vydechován komorou ochranné masky zpět do atmosféry. Uživateli filtračního dýchacího přístroje je závislý na přítomnosti kyslíku v ovzduší. Při poklesu obsahu kyslíku pod hranici dýchatelnosti (17%), je použití tohoto přístroje nepřijatelné! Filtrační dýchací přístroj s otevřeným dýchacím okruhem, se rozděluje do dvou skupin:

- pracovní,
- vyváděcí.

### 5.1.1 Pracovní dýchací přístroje

Pracovní dýchací přístroj je složen z obličejové masky a filtru, viz obr. 8. Filtry se dále dělí podle druhu použití, viz kapitola 5.1.2. Filtrační dýchací přístroje se používají nejčastěji při zásahu v prašném prostředí, zásahu na NL, v dekontaminačním stanovišti atd. Doba použití filtračního dýchacího přístroje závisí na koncentraci škodlivých látek v dýchaném ovzduší a na dechové spotřebě uživatele. Při dlouho trvalém zásahu nebo při předpokládaných vyšších koncentracích látek je nutné ověřit kapacitu filtru. Při stálém zachytávání škodlivých látek ve filtru narůstá nádechový odpor a hrozí nadechnutí škodlivých látek kolem těsnicí linie masky. Filtrační dýchací přístroj není opatřen informačním systémem o nasycenosti filtru.



**Obrázek 8. Filtrační dýchací přístroj s filtrem [18]**

### 5.1.2 Filtry

Nadechovaný vzduch z ovzduší vstupuje do filtru, kde se zbavuje plynů, par a částic, a dále vstupuje do lícnicové části. Odstraňování těchto škodlivých látek se děje – filtrací, absorpcí, adsorpcí a reakcí (chemisorpcí, katalyticky). Vzhledem k jednoúčelovosti filtrů je důležité znát složení nebezpečného ovzduší.

Filtry se dělí na tyto skupiny:

- a) protiplynové filtry – odstranění určitých plynů a par z ovzduší A, B, E, K, AX,
- b) kombinované filtry – kombinace filtru protiplynového proti více plynům nebo částicím,
- c) filtr proti částicím – P1 (proti pevným), P2 a P3 (proti pevným a kapalným),
- d) speciální filtry.

Protiplynové filtry A, B, K, a P se dělí na 3 třídy:

- a) třída 1 – filtry s malou sorpční kapacitou,
- b) třída 2 - filtry se střední sorpční kapacitou,
- c) třída 3 - filtry s velkou sorpční kapacitou.

Filtry bývají nejčastěji válcového tvaru a opatřeny otvorem na obou stranách. Ve spodní části je vstupní otvor a v horní části je výstupní otvor, který je doplněn šroubením pro připojení k obličejové masce, viz obr. 9.

**Tabulka 3. Typy protiplynových a kombinovaných filtrů [5]**

Typ	Barevný kód	Třída	Určení
A	hnědý	1,2 nebo 3	organické plyny a páry organických látek s bodem varu nad 65 °C
B	šedý	1,2 nebo 3	anorganické plyny a páry kromě oxidu uhelnatého
E	žlutý	1,2 nebo 3	oxid siřičitý a ostatní kyselé plyny a páry
K	zelený	1,2 nebo 3	amoniak a organické aminy
AX	hnědý		organické plyny a páry s bodem varu $\leq 65$ °C; pouze pro jedno použití
SX	fialový		speciálně vyjmenované plyny
P	bílý	1,2 nebo 3	pevné a kapalné částice nebo jejich kombinace
NO - P3	modro - bílý		nitrozní plyny
Hg - P3	červeno - bílý		páry rtuti
Reaktor	oranžový		radioaktivní jód, včetně radioaktivního methyljodidu



**Obrázek 9. Filtry [5]**

### 5.1.3 Vyváděcí dýchací přístroje

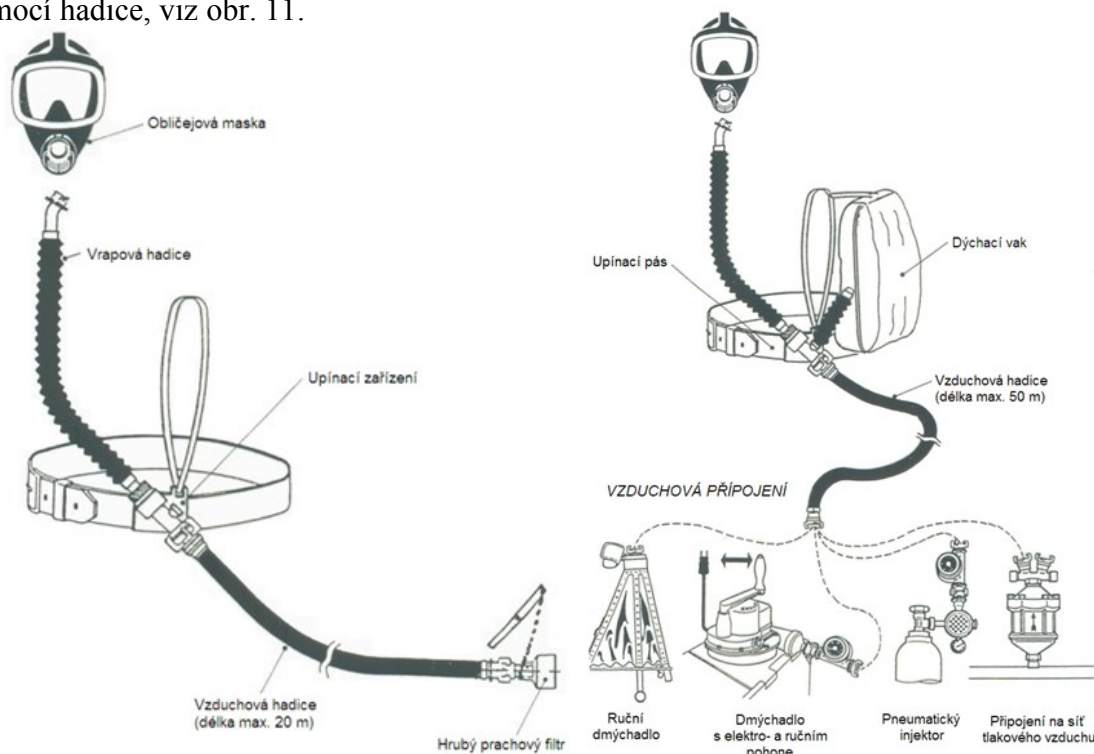
Jsou to jednoúčelové filtrační dýchací přístroje, určené pro záchranu lidí z ohrožených prostorů – požáry, chemické, biologické a radiační havárie. Mezi nejpoužívanější vyváděcí dýchací přístroje patří EVAC U8 a Parat maska, viz obr. 10.



Obrázek 10. Evac U8 [16] a Parat maska [5]

### 5.2 Neautonomní dýchací přístroj

Neautonomní dýchací přístroje se také nazývají hadicové dýchací přístroje. Potřebný vzduch se přivádí buď z čisté atmosféry, nebo ze zásobníku dýchacího média pomocí hadice, viz obr. 11.



Obrázek 11. Schéma hadicového dýchacího přístroje rovnotlakého a přetlakového [5]

Hadicové dýchací přístroje se dělí na:

- a) rovnotlaké,
- b) přetlakové.

U rovnotlakých hadicových dýchacích přístrojů se vzduch pro dýchání dodává pouze pod tlakem, který je způsoben nádechem. Přívodní hadice nesmí přesahovat délku 20 m a musí být takového provedení, aby nádechový odpor nebyl příliš vysoký a práce v DP byla snesitelná a bezpečná. [5]

U přetlakových hadicových dýchacích přístrojů je udržován trvale přetlak dýchacího média. Přetlak umožňuje použití neomezené délky hadice, která přivádí vzduch do obličejové masky uživatele. Vzhledem k přetlakovému provedení je zde délka limitována od 20 m výše. [5]

### 5.3 Rovnotlaký vzduchový dýchací přístroj

V České republice je hlavním představitelem těchto vzduchových dýchacích přístrojů jednostupňový přístroj SATURN, který se začal vyrábět v roce 1967, viz obr. 12.

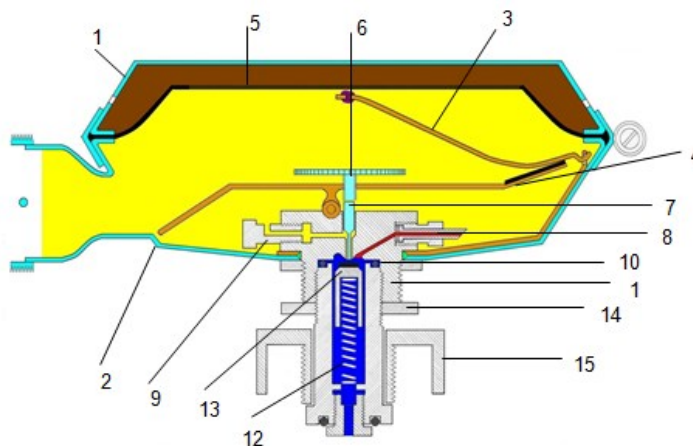


Obrázek 12. Jdnostupňový přístroj SATURN [5]

Rovnotlaká – jednostupňová plicní automatika redukuje vysoký tlak vzduchu z tlakové láhve (200 barů) na tlak nádechový. Principem je redukce tlaku v plicní automatice, viz obr. 13. Plicní automatika je založena na plynotěsném připojení plic, obličejové masky, plicní automatiky a narušení rovnováhy tlaku nad membránou a pod membránou. Tlak pod membránou a tlak okolí je stejný, přičemž k otevření ventilu dojde podtlakem. Při nádechu se zvětšuje objem plic, a tím se vytváří podtlak. Pak v tomto případě atmosférický tlak působí na membránu. Tato membrána se prohne, a pomocí

pákového mechanismu způsobí otevření ventilu. Membrána se vrátí do své polohy, až se tlak vzduchu vyrovná s tlakem v okolí uživatele, a tím dojde k uzavření ventilu. Při výdechu se vydechovaný vzduch nevrací do plicní automatiky, ale odchází výdechovým ventilem umístěným v obličejové masce.

1. horní víko,
2. spodní víko,
3. páka horní,
4. páka dolní,
5. membrána,
6. regulační šroub nádechového odporu,
7. jehla,
8. přípojka píšťaly výstražného zařízení,
9. injektor,
10. O – kroužek,
11. jádro,
12. pružina,
13. kuželka,
14. pojistná matice,
15. nátrubek.



Obrázek 13. Plicní automatika [5]

## 5.4 Přetlakový vzduchový dýchací přístroj

Přetlakové vzduchové přístroje jsou dvoustupňové s otevřeným okruhem. První stupeň redukuje vysoký tlak vzduchu na tlak střední, kde probíhá v redukčním ventilu. Druhý stupeň redukuje střední tlak na tlak nízký, což se uskutečňuje v plicní automatice. Tento typ dýchacího přístroje se začal používat v České republice počátkem 90. let.

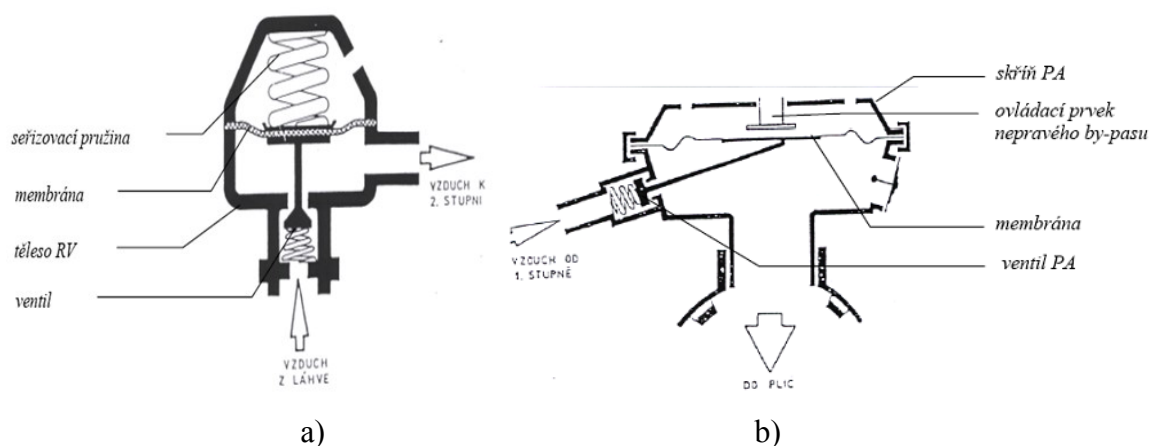
Tabulka 4. Přetlakové vzduchové přístroje používané u HZS [5]

Přetlakový vzduchový přístroj	Výrobce	Stát	Podíl % obj.
Dräger	Dräger Safety	Německo	78
Auer	MSA Auer	Německo	17
Pluto	MEVA Roudnice	Česká Republika	4
Fenzy	Fenzy	Francie	0,9
Racal	Racal Healt&Safety	Velká Británie	0,1

Redukční ventil snižuje vysoký tlak z láhve na tlak střední, který se pohybuje mezi 6 – 10 bary. Při nádechu se vzduch odčerpá, poklesne tlak pod membránou, pružina



se napne, a to zapříčiní otevření ventilu, viz obr. 14 a. Při otevření ventilu, vzduch tlačí na membránu a pružinu, která způsobí zavření ventilu. Plicní automatika redukuje střední tlak, který přichází z redukčního ventilu na tlak nízký 2 – 4,5 mbar, viz obr. 14 b. Plicní automatika se připojuje přímo na obličejovou masku, čímž se snižuje nádechový odpor. U přetlakové plicní automatiky dochází v prostoru obličejové masky k trvalému přetlaku, a tím zvyšuje bezpečnost uživatele – snížení pravděpodobnosti vniknutí nebezpečné látky do vnitřního prostoru masky.



Obrázek 14. A) Schéma redukčního ventilu [5], b) je plicní automatika [5]

## 5.5 Kyslíkové dýchací přístroje

Kyslíkový dýchací přístroj s uzavřeným okruhem je přístroj, který zachycuje oxid uhličitý z vydechovaného vzduchu uživatele a obohacuje směs o kyslík, kterou následně uživatel vdechne. Tento cyklus se stále opakuje. Kyslík může být dodáván z tlakové láhve nebo může být chemicky vyvíjený. Kyslíkové dýchací přístroje jsou nejčastěji používány u důlních záchranářů (HBZS). Používají se při dlouhodobých zásazích nebo tam, kde vzduchový dýchací přístroj nestačí svou kapacitou vzduchu. Proto se nejčastěji používají při práci v dolech, tunelech, v podzemních prostorách – v metru.

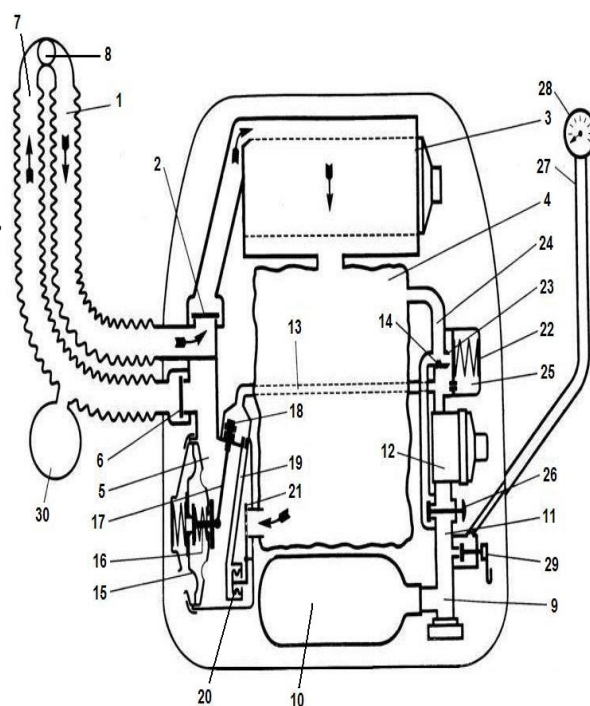
### 5.5.1 Kyslíkový dýchací přístroj s tlakovým kyslíkem

Tento typ kyslíkového dýchacího přístroje patří mezi nejrozšířenější přístroje. Principem tohoto přístroje je předpoklad, že při dýchání využívá člověk ze vzduchu pouze kyslík. Při výdechu obsahuje vzduch 17 %  $O_2$  a 4 %  $CO_2$ . Na pohlčovači se zachytí obsah  $CO_2$ , vodní páry a z tlakové láhve se doplní  $O_2$  na dýchatelnou koncentraci. Vdechované a vydechované vzdušiny musí být od sebe odděleny, aby veškerý  $CO_2$  byl odveden

do pohlčovače a nezůstal v mrtvém prostoru, kde by hrozilo opětovné vdechnutí. Odpor pohlčovače nesmí na konci ochranné doby překročit hodnotu 200 Pa. Pohlčovače CO<sub>2</sub> se dělí na jednorázové a plnitelné.

#### Základní části kyslíkového dýchacího přístroje:

1. vydechovaná hadice,
2. výdechový ventil ve výdechové komoře,
3. pohlčovač CO<sub>2</sub>,
4. dýchací vak,
5. komora plicního automatu
6. nádechový ventil ve vdechové komoře
7. nádechová hadice,
8. centrální přípojka,
9. úhlový láhvvý ventil,
10. tlaková láhev,
11. rozvaděč kyslíku,
12. redukční ventil,
13. tlakové potrubí redukovaného tlaku,
14. tryska stálé dávky,
15. membrána,
16. přetlakový ventil,
17. ovládací páka,
18. vyvracecí kuželka,
19. přívodní potrubí var. signálu,
20. ovládací zařízení var. signálu,
21. akustická část var. signálu,
22. těleso automatického proplachu,
23. ventil automatického proplachu,
24. potrubí automatického proplachu,
25. komora automatického proplachu,
26. ručně – přidávkový ventil,
27. monometrové potrubí,
28. manometr kyslíku,
29. uzavírací ventil manometrového vedení,
30. sliník.



**Obrázek 15. Schéma přístroje [5]**

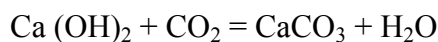
Jednorázové pohlčovače se dále dělí na jednohodinové, dvouhodinové a čtyřhodinové. Pohlčovač je nádoba elipsovitého tvaru vyrobená z ocelového plechu se vstupním a výstupním otvorem. Uvnitř pohlčovače se nachází náplň a síť. Jako náplň se používá hydroxid sodný (NaOH) a hydroxid draselný (KOH). Chemická reakce, která probíhá v pohlčovači:





V obou případech se jedná o exotermickou reakci, která zapříčiňuje ohřívání vdechovaného ovzduší až na teplotu kolem 100 °C – nepříjemné pro uživatele. Při přerušení dýchaní se reakce zastaví a dojde ke spečení zrněk. Tím pádem se pohlčovač stane neprůchodný. Po použití je nutné s jednorázovým pohlčovačem zacházet opatrně, protože obsah je tekutý a silně žíravý, viz obr. 16 a.

Plnitelné pohlčovače (natronové) jsou v dnešní době více používány než jednorázový pohlčovač z důvodu ekonomičtějšího provozu, bezpečnější manipulace a především opakovatelného použití. V České republice se používá natronové vápno – směs  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ,  $\text{NaOH}$ ,  $\text{CaCO}_3$ , viz obr. 16 b. Pokud nebyl pohlčovač použit minimálně jeden rok, je nutné náplň vyměnit. Při reakci náplně v pohlčovači se uvolňuje voda.



5.3



a)



b)

**Obrázek 16. a) Jednorázový pohlčovač, b) Natronový pohlčovač**

### 5.5.2 Kyslíkový dýchací přístroj s chemicky vázaným kyslíkem

Tento kyslíkový dýchací přístroj vyvíjí kyslík na bázi chemické reakce. Dělí se na pneumatogové a nascogenové.

U pneumatogových přístrojů pracuje vyvíječ na bázi peroxidů (peroxid sodíku  $\text{Na}_2\text{O}_2$ ) nebo hydroxidů alkalických kovů (hyperoxid draselný  $\text{KO}_2$ ). Přidáním katalyzátoru do přístroje se urychlí chemická reakce. Vydechovaný vzduch je přiváděn do vyvíječe s chemikálií, kde reaguje s vydechovaným  $\text{CO}_2$  a vlhkostí. Při této exotermické reakci se uvolňuje teplo a ekvivalentní množství kyslíku. Tato teplota vzduchu je redukována chladicím systémem. Množství vyvíjeného kyslíku je závislé na intenzitě dýchaní

uživatelé. U nascogenových přístrojů se vyvíjí kyslík hořením chlorečnanu draselného ( $\text{KClO}_3$ ).

Chemická reakce:



Zásoba kyslíku v přístroji je ve formě briketových bloků ze směsi chlorečnanu, tepelně izolačního materiálu a práškového železa s přídavkem pojiva. [5] Pomocí startovacího zařízení se brikety iniciují a dochází ke spalování Fe na  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Takovéto vzniklé reakční teplo udržuje briketu v chodu, kde tepelně izolovaný materiál zabráňuje roztavení brikety. Při reakci se vytváří malé množství chlóru, který se za pomoci přídavku BaO neutralizuje. 1 kg  $\text{KClO}_3$  dokáže vyvinout až 275 l kyslíku.

Hlavním rozdílem mezi vzduchovým dýchacím přístrojem a kyslíkovým dýchacím přístrojem je ochranná doba. Vzduchový dýchací přístroj má ochrannou dobu 30 až 40 minut (podle druhu práce), kdežto kyslíkový dýchací přístroj má ochrannou dobu 2 až 4 hodiny (podle typu přístroje). Kyslíkový dýchací přístroj je oproti vzduchovému dýchacímu přístroji složitější, náročnější na používání, údržbu a ekonomicky náročnější. Vzduch v kyslíkovém dýchacím přístroji dosahuje poměrně vysokých teplot, je také suchý, a pro netrénovanou osobu jsou tyto podmínky pro dýchání nepříjemné až nesnesitelné.

## 6. Experimentální měření

Cílem tohoto experimentu bylo sledování reakce organismu na zátěž záchranářů v důsledku používání dýchacích přístrojů. Při experimentu se budou využívat dva rozdílné typy dýchacích přístrojů - vzduchové a kyslíkové.

### 6.1 Experimentální podmínky

Experiment se uskutečnil ve Školícím výcvikovém zařízení – Frýdek Místek. Výcvikové centrum je komplexním technologickým systémem pro výcvik hasičů v dýchací technice. Prostory výcvikového střediska se skládají z řídicího centra, místnosti přípravy, fitness a plynového polygonu, viz obr. 17. Plynového polygonu v tomto experimentu nebylo využito. V místnosti pod názvem fitness se nacházejí tři stroje - zátěžový chodník, nekonečný žebřík a cvičební kladivo.



Obrázek 17. Školící výcvikové zařízení - Frýdek Místek

#### 6.1.1 Časový harmonogram experimentu

Měření se bude provádět ve dvou dnech. Rozdělení na více dní je záměrné, z důvodu regenerace a porovnání naměřených hodnot organismu. První den se bude měřit zatížení při použití kyslíkového dýchacího přístroje. Ve druhém dni se bude měřit zatížení při použití vzduchového dýchacího přístroje. Činnost pokusných osob je v obou dnech stejná. Nejprve jsou na pokusné osoby připevněny měřicí přístroje, které budou snímat zatížení organismu. Po správném umístění a zabezpečení všech měřících zařízení se pokusná osoba vystrojí do oděvu, ve kterém bude provádět experiment, viz kapitola 6.2.1. Experiment začíná nasazením dýchací techniky. V prvním kroku bude pokusná osoba měřena v dýchací technice bez zátěže - zjištění počátečních klidových hodnot. Následně

pokusná osoba absolvuje rychlou chůzi na zátěžovém chodníku. Poté plynule přejde na nekonečný žebřík, dále na cvičební kladivo a nakonec na ergometrické kolo. Po tomto zátěžovém cyklu bude následovat přestávka. V této přestávce se vymění uživateli vzduchový dýchací přístroj z důvodu nedostatku vzduchu. V případě experimentu s kyslíkovým dýchacím přístrojem však nikoliv. Jedna disciplína i přestávka trvá 5 minut. Tento jeden cyklus bude trvat 30 minut. Po ukončení přestávky následuje druhý cyklus, který je stejný jako ten první. Experiment bude končit po závěrečné 5 minutové přestávce. Délka celého experimentu by tedy měla trvat přesně 1 hodinu.

## **6.2 Pokusné osoby**

Experimentu se zúčastní příslušníci HZS Zlínského kraje, ve věku 28 až 30 let, v dobrém zdravotním stavu a vysoké trénovanosti. Úmyslně jsou vybráni pouze muži, jelikož ženy nejsou zařazeny do operačního řízení – výjezdové činnosti. Pokusné osoby, byly seznámeny s průběhem a pravidly celého experimentu. Na základě toho jim bylo přiděleno pořadové číslo. Všechny pokusné osoby budou před zahájením změřeny a zváženy.

### **6.2.1 Oděv pokusných osob**

Každá pokusná osoba byla vystrojena stejně jako při každém výjezdu – zásahu, svými osobními věcmi. Jednalo se o tričko s krátkým rukávem, spodní prádlo, zásahové ponožky, zásahový kabát, zásahové kalhoty, zásahová obuv, zásahové rukavice a přilba.

### **6.2.2 Typy dýchacích přístrojů**

Při experimentu se budou využívat dva rozdílné typy dýchacích přístrojů a to vzduchové a kyslíkové. Při použití vzduchového dýchacího přístroje bude vybavena pokusná osoba přístrojem typu Dräger PA 94, který se nejčastěji využívá u HZS ČR. Zato při použití kyslíkového dýchacího přístroje bude vybavena pokusná osoba přístrojem typu Dräger BG 174.

### 6.2.3 Pracovní zátěž

U zasahujících hasičů je pracovní zátěž různá, z důvodu provádění lehčích, ale i těžších prací. Při práci s dýchací technikou, je zátěž vysoká. Proto byl experiment proveden pro práci třídy V dle NV 361/2007 Sb. [10] Jedná se o práci s celkovým energetickým výdejem 301 a více  $\text{W/m}^2$ . Tomuto výdeji odpovídá práce s rozsáhlou a velmi intenzivní činností svalstva trupu, horních a dolních končetin – transport těžkých břemen, výkopové práce, práce sekerou při těžbě dřeva, chůze v úklonu a práce na pracovištích hlubinových dolů. Literatura [8] nám uvádí, že při této práci s kyslíkovým dýchacím přístrojem je zátěž větší než  $290 \text{ W/m}^2$ .

## 6.3 Metody vyšetření pokusných osob

Vyšetření reakce pokusných osob na zatížení organismu bude probíhat podle těchto metod:

1. Měření fyziologických parametrů,
2. Dotazník subjektivních pocitů.

### 6.3.1 Měření fyziologických parametrů

Pro měření reakce zatížení organismu na základě změn fyziologických parametrů jsou zvoleny tyto následující fyziologické ukazatele, které uvádí norma ČSN EN ISO 9886. [13]:

- nitrotělní teplota –  $t_{\text{or}}$  [ $^{\circ}\text{C}$ ],
- teplota kůže –  $t_{\text{sk}}$  [ $^{\circ}\text{C}$ ],
- srdeční frekvence – HR [pulsy  $\cdot \text{min}^{-1}$ ],
- ztráta tělesné hmotnosti –  $\Delta m_{\text{sw}}$  [g].

#### Nitrotělní teplota

V některých literaturách se také uvádí jako teplota tělesného jádra. Tato teplota je závislá na velikosti metabolické produkce a na teplotě okolí. U zdravého člověka kolísá teplota v průběhu dne v rozmezí  $36,0 - 37,0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , viz kapitola 4.4.



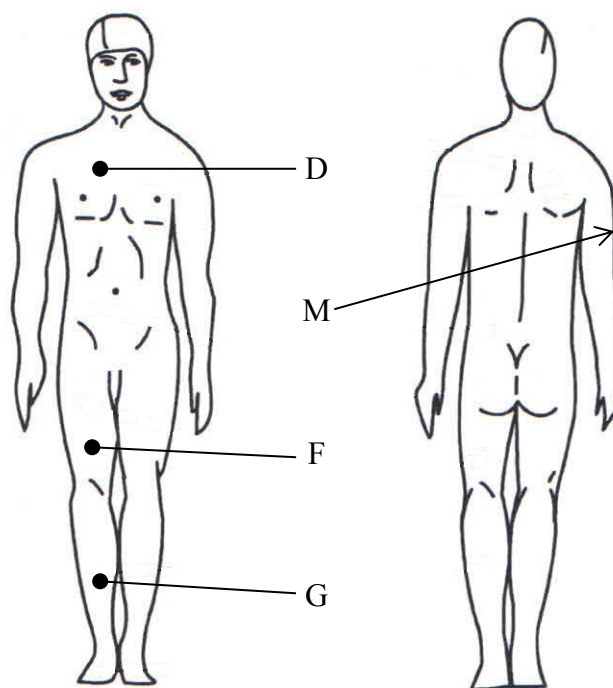
**Obrázek 18. Questemp II -osobní teplotní čidlo**

Teplota tělesného jádra se bude měřit pomocí teploty ušního bubínku, jehož krevní zásobením je uskutečněno částečně vnitřní krkavicí zásobující bazální část mezimozku. Teplota na ušním bubínku bude měřena pomocí přístroje Questemp II - osobní teplotní čidlo, viz obr. 18. Z ucha musí být odstraněny všechny mazy a nečistoty. Tato metoda bude pro zkoumané osoby nepříjemná z důvodu kontaktu čidla s ušním bubínkem. Je nutné ovšem podotknout, že tvar čidla a tuhost sondy jsou důležitým faktorem pro zabránění poškození bubínku.

### **Teplota kůže**

Měření vnějšího povrchu těla - teploty kůže, se bude provádět pomocí teplotních čidel. Pro hodnocení reakce organismu na tepelnou zátěž se používá střední teplota kůže (průměrná teplota kůže). Tato teplota se vypočítá jako vážený průměr všech naměřených teplot na těle.

Při experimentu se bude teplota snímat ze čtyř bodů - z vrchního hrudníku, pravé paže, přední části pravého stehna a pravé holeně (D, M, F, G), viz obr. 19. Na těchto místech budou přichyceny teplotní čidla pomocí antialergenní zdravotnické náplasti a pružných obvazů. Je zapotřebí přichytit čidlo na více místech, aby nedošlo k odlepení čidla při provádění experimentu.



**Obrázek 19. Umístění měřících bodů**

Výpočet průměrné teploty kůže a umístění čidel uvádí literatura [2]:

$$t_k = (D + M) \cdot 0,3 + (F + G) \cdot 0,2 \quad 6.1$$

Průměrná teplota kůže se pohybuje za optimálních podmínek a při kompenzované tepelné zátěži v rozmezí 31 až 34 °C. [2] Teplota kůže se bude měřit pomocí univerzálním datalogerem Almemo 2590 se čtyřmi vstupy pro čidla, viz obr. 20.



**Obrázek 20. Univerzální datologer Almemo 2590**

### **Srdeční frekvence**

Srdeční frekvence během práce je tím vyšší, čím vyšší je kyslíková spotřeba spojená s vykonáním dané zátěže. Srdeční frekvence neukazuje zátěž, kterou pokusné osoby podstoupí, ale naopak ukazuje námahu organismu na určitou zátěž. Velký vliv na srdeční frekvenci má kromě vykonávané práce také i psychická zátěž a tepelně vlhkostní podmínky, viz kapitola 4.2.

Srdeční frekvence je definována jako počet srdečních pulsů za minutu. Měření srdeční frekvence bude provedeno pomocí sporttestru – Polar RCX3. Tento sporttestr bude snímat hodnoty srdeční frekvence během celého experimentu. Maximální srdeční frekvence je vypočítána podle vzorce 6.2.

$$SF_{max} = 220 - věk (roky) \quad 6.2$$

Literatura [9] dále uvádí výpočet submaximální srdeční frekvence, která odpovídá 75-85 %  $SF_{max}$ . Tato submaximální srdeční frekvence je vypočítána podle vzorce 6.3

$$SF_{submax} = 200 - věk(roky) \quad 6.3$$

### **Ztráta tělesného hmotnosti**

Mezi nejhlavnější ukazatele ztráty hmotnosti, je řazeno množství vody ztracené potem a dýcháním, viz kapitola 4.4.4.

Pro zjištění ztráty vody potem a dýcháním budou pokusné osoby zváženy ve spodním prádle před a po experimentu. Měření musí probíhat bez oděvu, aby se zamezilo připočtení hmotnosti oděvu akumulovaného potem. Během experimentu pokusné osoby nepřijímají žádné tekutiny a ani žádné nevylučují močí. Proto ztráty tělesné hmotnosti budou vypočteny rozdílnou hmotností - před a po experimentu. Při odpaření 1 l potu tělo vydá 2,3 MJ energie.

Intenzita pocení je přepočet ztráty hmotnosti potu za hodinu na 1 m<sup>2</sup> povrchu těla. Abychom zjistili tuto intenzitu pocení je zapotřebí vypočítat povrch těla. Povrch těla se vypočítá podle rovnice DuBois [19]:

$$S_t = (hmotnost^{0,425} \cdot výška^{0,725}) \cdot 0,007184 \quad 6.4$$



## **6.4 Dotazník subjektivních pocitů**

Tento dotazník vyplní pokusné osoby hned po absolvování experimentu. Kdyby se tento dotazník předkládal dlouho po experimentu, pokusné osoby by tuto skutečnost viděly trochu jinak. Kladené otázky v dotazníku budou stejné při experimentech se vzduchovými i s kyslíkovými dýchacími přístroji. Tyto získané hodnoty budou porovnávány a vyhodnoceny mezi sebou.

Tento dotazník bude zaměřen především na subjektivní hodnocení únavy po zátěži, hodnocení pracovní tepelné zátěže a hodnocení psychické pohody.

## 7. Výsledek měření

Celkově se experimentu zúčastnily pouze dvě osoby, protože bylo možné zapůjčit jen dva kyslíkové dýchací přístroje od HBZS. Pokusnými osobami byly příslušníci HZS Zlínského kraje. Experiment probíhal při teplotě 30 °C a 33 % vlhkosti vzduchu. Veškeré naměřené hodnoty z experimentu jsou zaznamenány a vyhodnoceny v tabulkové a grafické podobě.

Z důvodu vysoké nitrotělní teploty během experimentu pokusných osob bylo nutné experimentální měření upravit. Experiment byl zahájen nasazením dýchací techniky. V prvním kroku byla pokusná osoba měřena v dýchací technice bez zátěže. Následně pokusná osoba absolvovala rychlou chůzi na zátěžovém chodníku. Poté plynule přešla na nekonečný žebřík. Zde měla pokusná osoba dále přejít přímo na cvičební kladivo, ale pro neschopnost pokusné osoby nadále pokračovat byla přidána přestávka. Po přestávce pokusná osoba pokračovala na cvičební kladivo, a dále pak následovala opět rychlá chůze na zátěžovém chodníku. Po tomto zátěžovém cyklu následovala přestávka. V konečné fázi experimentu pokusná osoba absolvovala ještě jednou nekonečný žebřík. Experiment končil po závěrečné přestávce. Nový časový harmonogram experimentu je znázorněn v tab. 5.

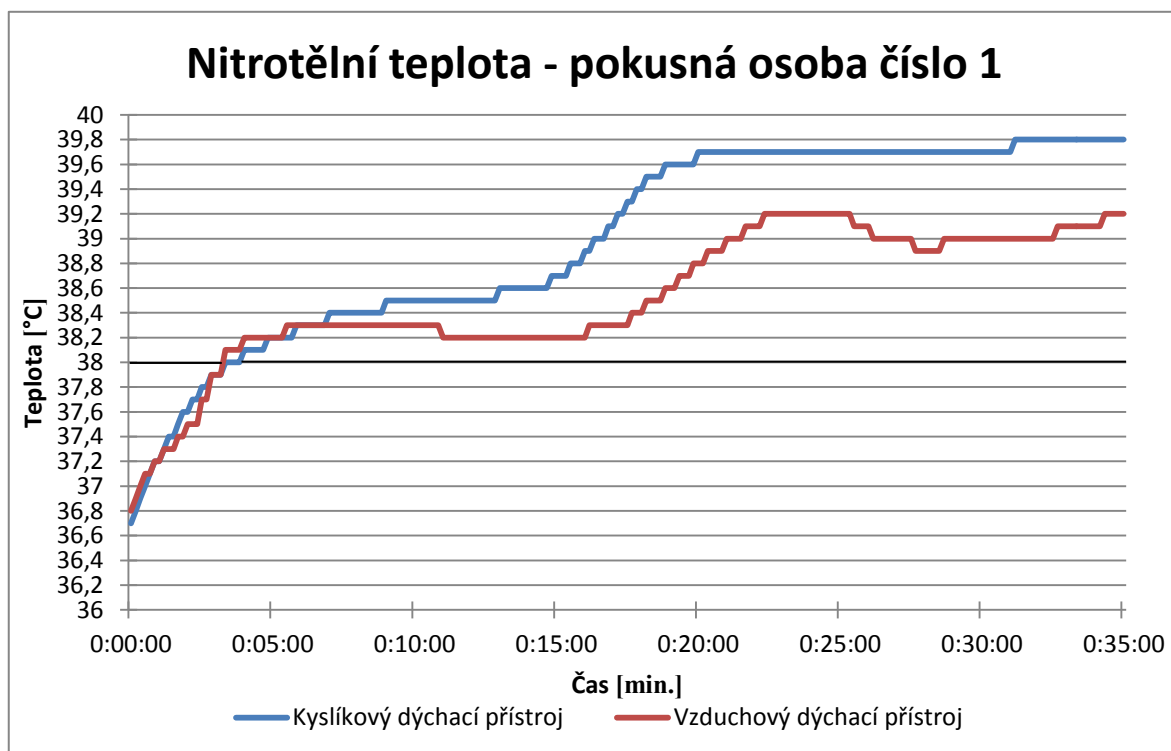
**Tabulka 5. Nový časový harmonogram experimentu**

Délka cviku [min.]	Činnost
5	Klidová poloha bez zátěže
5	Rychlá chůze na zátěžovém chodníku
5	Zátěž na nekonečném žebříku
5	Klidová poloha bez zátěže - pauza
2	Zátěž na cvičebním kladivě
5	Rychlá chůze na zátěžovém chodníku
3	Klidová poloha bez zátěže - pauza
1	Zátěž na nekonečném žebříku
4	Klidová poloha bez zátěže

## 7.1 Nitrotělní teplota

Teplota tělesného jádra byla měřena v celém průběhu experimentu a to na ušním bubínku, pomocí přístroje Questemp II - osobní teplotní čidlo. Maximální přípustná teplota tělesného jádra je 38 °C.

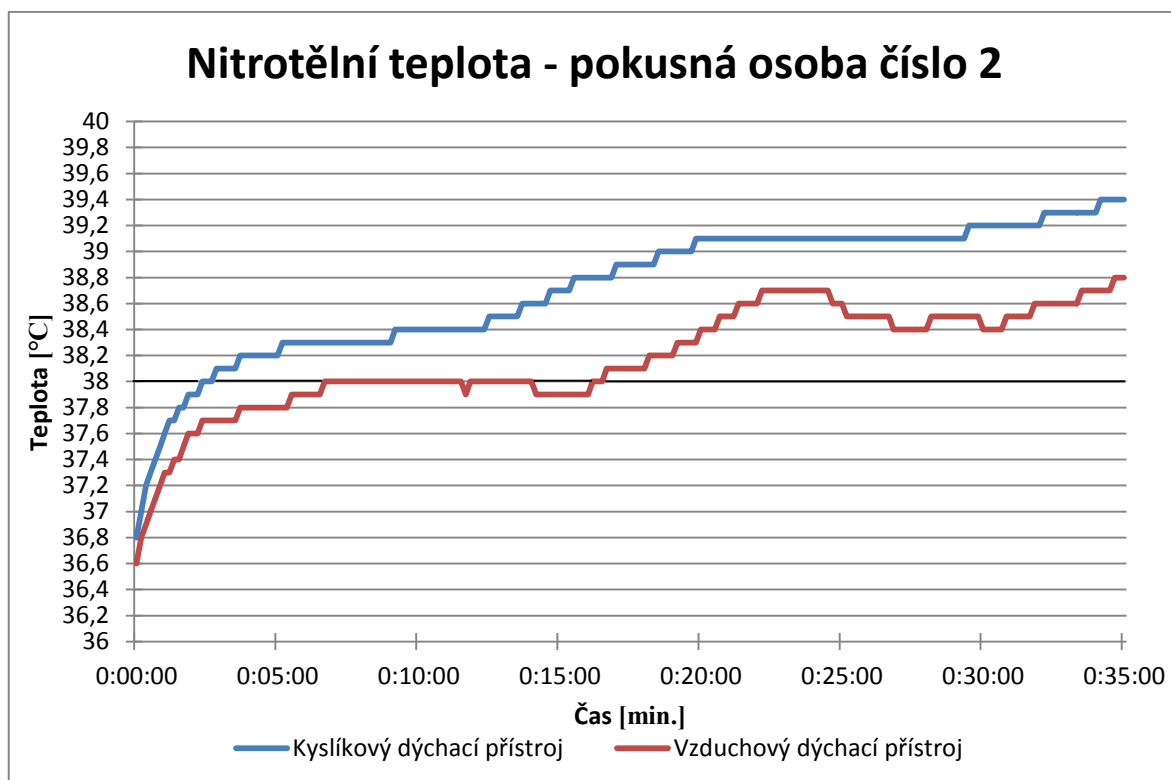
Naměřené hodnoty nitrotělní teploty pokusné osoby číslo 1 při použití kyslíkového a vzduchového dýchacího přístroje jsou znázorněny v grafu č. 1.



**Graf 1 Nitrotělní teplota - pokusná osoba č. 1**

Při použití kyslíkového dýchacího přístroje byla nitrotělní teplota na začátku experimentu 36,7 °C. Během experimentu bylo průměrně dosaženo teploty 39 °C a maximální teplota dosáhla hodnoty 39,8 °C. Při použití vzduchového dýchacího přístroje byla nitrotělní teplota na začátku experimentu 36,8 °C. Během experimentu byla průměrná teplota 38,5 °C a maximální teplota dosáhla hodnoty 39,2 °C.

Naměřené hodnoty nitrotělní teploty pokusné osoby číslo 2 při použití kyslíkového a vzduchového dýchacího přístroje jsou znázorněny v grafu č. 2.



**Graf 2. Nitrotělní teplota - pokusná osoba číslo 2**

Při použití kyslíkového dýchacího přístroje byla nitrotělní teplota na začátku experimentu 36,8 °C. Během experimentu bylo průměrně dosaženo teploty 38,7 °C a maximální teplota dosáhla hodnoty 39,4 °C. Při použití vzduchového dýchacího přístroje byla nitrotělní teplota na začátku experimentu 36,6 °C. Během experimentu byla průměrná teplota 38,2 °C a maximální teplota dosáhla hodnoty 38,8 °C.

Vysoké hodnoty obou pokusných osob při použití kyslíkového dýchacího přístroje se pohybovaly nad povolenou hranicí 38 °C. Dlouhodobá tepelná zátěž za těchto podmínek by mohla vést ke kolapsu organismu. Z tohoto důvodu nebylo možné splnit experiment v celé jeho délce jedné hodiny a musel být zkrácen pro neschopnost pokusných osob nadále pokračovat. Délka experimentu byla pouze 35 minut.

Maximální únosná teplota 38 °C byla překročena i u vzduchového dýchacího přístroje, kde se vdechovaný vzduch neohřívá, jak je tomu u kyslíkového dýchacího přístroje. Během experimentu se při pracovní zátěži teplota snižuje současně se zvýšením frekvence dýchání (viz grafy v Příloze C). Při vyšší frekvenci dýchání dochází ke vdechování většího objemu vzduchu, který neohřívá organismus. Zato u kyslíkového

dýchacího přístroje se vzduch pozvolna ohřívá vlivem uzavřeného okruhu, a tím pozvolna ohřívá organismus.

Největší vzestup teploty u obou typů dýchacích přístrojů byl mezi 15 – 20 minutou. V tomto čase pokusné osoby právě měly vynucenou přestávku kvůli vysokému vyčerpání a nutnosti odpočinku, aby bylo vůbec možné pokračovat v experimentu.

## 7.2 Teplota kůže

Při experimentu se teplota snímala ze čtyř bodů, a to z hrudníku, pravé paže, přední části pravého stehna a pravé holeně. Rozmístění teplotních čidel na pokusné osobě s měřícím zařízením je znázorněno na obr. 21. Průměrná teplota kůže byla vypočítána podle vzorce 6.1



**Obrázek 21. Rozmístění teplotních čidel na pokusné osobě**

Rozdílné a průměrné hodnoty teploty kůže při použití kyslíkového a vzduchového dýchacího přístroje jsou uvedeny v tabulkách č. 6 a 7.

**Tabulka 6. Rozdílná a průměrná hodnota teploty kůže - vzduchový dýchací přístroj**

Vzduchový dýchací přístroj					
Pokusná osoba	Hrudník [Δt]	Pravá paže [Δt]	Pravé stehno [Δt]	Pravá holeň [Δt]	Průměrná teplota kůže [°C]
1	1,7	2,0	3,8	3,4	34,6
2	1,6	1,0	2,9	3,1	34,4

**Tabulka 7. Rozdílná a průměrná hodnota teploty kůže - kyslíkový dýchací přístroj**

Kyslíkový dýchací přístroj					
Pokusná osoba	Hrudník [Δt]	Pravá paže [Δt]	Pravé stehno [Δt]	Pravá holeň [Δt]	Průměrná teplota kůže [°C]
1	1,9	2,2	4,6	3,9	34,72
2	1,6	1,9	4,0	3,2	34,56

Grafické znázornění kožních teplot v průběhu celého experimentu, jsou vykresleny v Příloze B.

Výsledná průměrná teplota kůže při použití vzduchového dýchacího přístroje se pohybuje v intervalech od 33,2 °C do 36 °C. Při použití kyslíkového dýchacího přístroje je výsledná průměrná teplota v intervalu od 33,5 °C do 36,1 °C. Pokusné osoby se od sebe v obou případech lišili minimálním rozdílem.

Průměrná teplota kůže se pohybuje při optimálních mikroklimatických podmínkách v rozmezí od 31 do 34 °C. Tato teplota u pokusných osob při použití vzduchového dýchacího přístroje byla překročena na hrudníku a pravé paži. U kyslíkového dýchacího přístroje byla teplota překročena na stejných místech jako u vzduchového dýchacího přístroje.

Teplota kůže nad 37 °C je vždy nebezpečná a znamená vysoký stupeň ohrožení. Tato teplota v průběhu experimentu nebyla překročena. Pokusná osoba číslo 1 při použití kyslíkového dýchacího přístroje dosáhla ke konci experimentu teploty 37 °C a to na hrudi, viz Příloha B. Maximální teplota kůže je 45 °C, kde dochází k nesnesitelné bolesti. K tomuto případu však nedošlo.

### 7.3 Ztráta tělesné hmotnosti

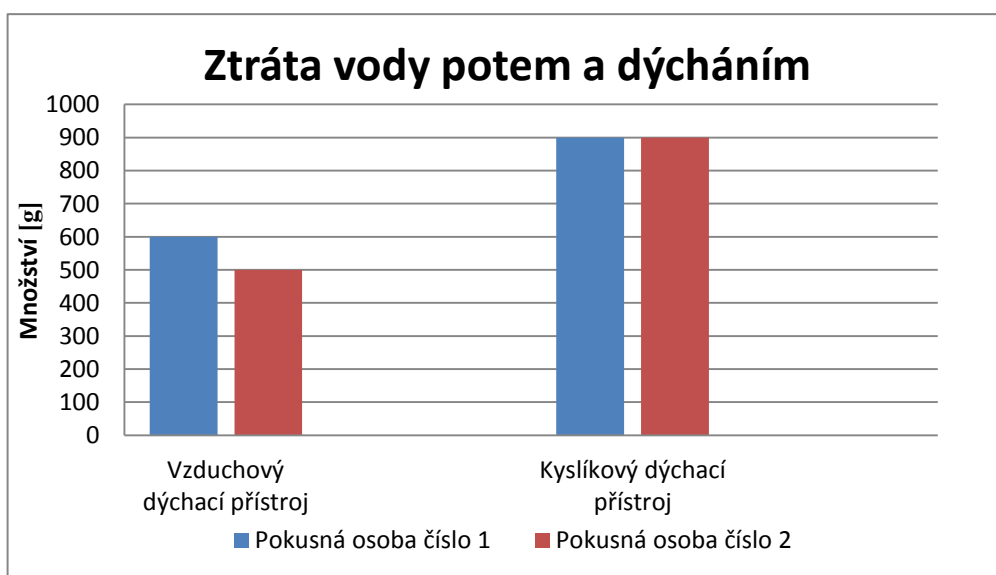
Jelikož pokusné osoby nepřijímaly žádné tekutiny a ani žádné nevylučovali močí, celková ztráta tělesné hmotnosti se vypočítala z rozdílu hmotnosti před a po experimentu. Pokusné osoby byly zváženy ve spodním prádle z důvodu zamezení připočtení hmotnosti oděvu akumulovaném potem. Tabulka 8 a 9 udává základní údaje pokusných osob a také naměřené hodnoty z prováděných experimentů.

**Tabulka 8. Ztráta tělesné hmotnosti - vzduchový dýchací přístroj**

Vzduchový dýchací přístroj								
Pokusné osoby	Věk [roky]	Výška [cm]	Váha [kg]		Ztráta hmotnosti potem a dýcháním [g]	Povrch těla [m <sup>2</sup> ]	Intenzita pocení [g.hod <sup>-1</sup> .m <sup>-2</sup> ]	Energetický výdej [MJ]
			před	po				
1	28	177	75,4	74,8	600	1,92	536	1,61
2	30	172	69,9	69,4	500	1,82	471,2	1,15

**Tabulka 9. Ztráta tělesné hmotnosti - kyslíkový dýchací přístroj**

Kyslíkový dýchací přístroj								
Pokusné osoby	Věk [roky]	Výška [cm]	Váha [kg]		Ztráta hmotnosti potem a dýcháním [g]	Povrch těla [m <sup>2</sup> ]	Intenzita pocení [g.hod <sup>-1</sup> .m <sup>-2</sup> ]	Energetický výdej [MJ]
			před	po				
1	28	177	74,3	73,4	900	1,91	808,2	2,07
2	30	172	71,2	70,3	900	1,84	839	2,07



**Graf 3. Ztráta vody potem a dýcháním**

Jelikož experiment trval méně než hodinu – 35 minut, byly všechny údaje přepočteny na tuto hodnotu. Prof. Jirák uvádí v literatuře [2], že intenzita pocení při energetickém výdeji 300 W a teplotě okolí 30 °C je 400 g.hod<sup>-1</sup>.m<sup>-2</sup>. Při přepočtu na délku experimentu je intenzita pocení 233,2 g.hod<sup>-1</sup>.m<sup>-2</sup>. Tato hodnota byla u pokusných osob jak s použitím kyslíkového dýchacího přístroje, tak i vzduchového dýchacího přístroje překročena.

Ztrátu tělesné hmotnosti nám také uvádí norma [14], která uvádí omezení rychlosti pocení za hodinu. Pro neaklimatizované osoby je ztráta 1 l/h a pro aklimatizované osoby 1,25 l/h. Při přepočtu na délku experimentu je pro neaklimatizované osoby dovolena ztráta 0,58 l a pro aklimatizované osoby 0,73 l. Protože pokusnými osobami byly příslušníci HZS, zařadil bych je mezi aklimatizované osoby. U kyslíkových dýchacích přístrojů byly limity překročeny. Naproti tomu u vzduchových dýchacích přístrojů byly hodnoty v normě.

Mezi hlavními faktory intenzity pocení patří věk, tělesný tuk, únava potního systému, dehydratace nebo naopak nadměrný přívod tekutin.

## 7.4 Srdeční frekvence

Srdeční frekvence byla snímána po celou dobu experimentu. Údaje o srdeční frekvenci získané během měření – průměrná hodnota, maximální a minimální hodnoty jsou uvedeny v tabulce 10 a 11. Pro každou posuzovanou osobu je vykreslený graf, který znázorňuje rozdíl srdeční frekvence při použití vzduchového a kyslíkového dýchacího přístroje, viz Příloha C.

**Tabulka 10. Srdeční frekvence - vzduchový dýchací přístroj**

Vzduchový dýchací přístroj					
Pokusné osoby	Věk [roky]	SF <sub>max</sub> [pulsy·min <sup>-1</sup> ]	SF <sub>prům</sub> [pulsy·min <sup>-1</sup> ]	Sf <sub>max</sub> dosažená [pulsy·min <sup>-1</sup> ]	Sf <sub>min</sub> dosažená [pulsy·min <sup>-1</sup> ]
1	28	192	130,9	172	83
2	30	190	130,5	174	80



**Tabulka 11. Srdeční frekvence - kyslíkový dýchací přístroj**

Kyslíkový dýchací přístroj					
Pokusné osoby	Věk [roky]	SF <sub>max</sub> [pulsy·min <sup>-1</sup> ]	SF <sub>prům</sub> [pulsy·min <sup>-1</sup> ]	Sf <sub>max</sub> dosažená [pulsy·min <sup>-1</sup> ]	Sf <sub>min</sub> dosažená [pulsy·min <sup>-1</sup> ]
1	28	192	142,8	177	94
2	30	190	140	184	87

Jak je patrné z tabulek, pokusné osoby při experimentu při použití jak vzduchového, tak i kyslíkového dýchacího přístroje nedosáhly hodnoty jejich maximální srdeční frekvence vypočítané podle vzorce 6.2. V experimentu s použitím vzduchového dýchacího přístroje dosáhly obě pokusné osoby nižších hodnot průměrných srdečních frekvencí i maximálních srdečních frekvencí než v experimentu s použitím kyslíkového dýchacího přístroje. Tyto hodnoty jsou vykresleny v Příloze C. Rozdíl hodnot dosažených maximálních srdečních frekvencí při použití vzduchového a kyslíkového dýchacího přístroje byl u pokusné osoby číslo 1 minimální - SF<sub>max</sub> dosažená vzduchovým dýchacím přístrojem = 172 pulsů/min., SF<sub>max</sub> dosažená kyslíkovým dýchacím přístrojem = 177 pulsů/min. Zato rozdíl hodnot dosažených maximálních srdečních frekvencí u pokusné osoby číslo 2 byl již větší - SF<sub>max</sub> dosažená vzduchovým dýchacím přístrojem = 174 pulsů/min., SF<sub>max</sub> dosažená kyslíkovým dýchacím přístrojem = 184 pulsů/min. Rozdíl hodnot dosažených průměrných srdečních frekvencí při použití vzduchového a kyslíkového dýchacího přístroje byl u obou pokusných osob podobný. U pokusné osoby číslo 1 tento rozdíl činil 12 pulsů/min a u pokusné osoby číslo 2 byl rozdíl 11 pulsů/min.

Z grafů (viz Příloha C) je patrné, že pokusné osoby dosahovaly nejnižších hodnot srdečních frekvencí v obou experimentech na jejich začátku a během experimentu nebylo nikdy opět dosaženo této hodnoty. U obou pokusných osob docházelo ke zvýšení srdečních frekvencí během daného typu zátěže a během klidové fáze docházelo opět k poklesu srdeční frekvence. Při experimentu s kyslíkovými dýchacími přístroji dosahovaly obě pokusné osoby po celou dobu vyšších hodnot srdečních frekvencí než v experimentu s použitím vzduchových dýchacích přístrojů.

## **7.5 Dotazník subjektivních pocitů**

Po ukončení experimentu, pokusné osoby nezávisle za sebe vyplnily dotazník pro subjektivní hodnocení únavy, pracovní tepelné zátěže a psychické pohody.

Při subjektivním hodnocení únavy pokusné osoby odpověděly na dotazník stejně. Při použití kyslíkového dýchacího přístroje se pokusné osoby po zátěži cítily dosti unaveně. Zato při použití vzduchového dýchacího přístroje se pokusné osoby po zátěži cítily lehce unaveně.

Při subjektivním hodnocení pracovní tepelné zátěže pokusné osoby odpověděly taktéž na dotazník stejně. Při použití kyslíkového dýchacího přístroje pokusné osoby pociťovaly intenzivní zátěž spojenou s nepříjemnými pocity, lze ji tolerovat jen s velkým úsilím po krátkou dobu. Zato při použití vzduchového dýchacího přístroje pokusné osoby pociťovaly středně těžkou zátěž vyvolávající středně intenzivní nepříjemné subjektivní pocity, lze ji však tolerovat po dosti dlouhou dobu.

Při subjektivním hodnocení psychické pohody pokusné osoby odpověděly taktéž na dotazník stejně. Jak při použití kyslíkového dýchacího přístroje, tak i při použití vzduchového dýchacího přístroje se pokusné osoby cítily dobře.

Pokusné osoby pociťovaly u kyslíkového dýchacího přístroje mnohem větší únavu a tepelnou zátěž než při používání vzduchového dýchacího přístroje.

## 8. Vyhodnocení

Při experimentu s kyslíkovými dýchacími přístroji pokusné osoby dosahovaly vysokých nitrotělních teplot, které se blížily ke 40 °C. Pokračování v takto vysoké tepelné zátěži by mohlo vést ke kolapsu organismu. Z tohoto důvodu nebylo možné splnit experiment v celé jeho délce jedné hodiny a musel být zkrácen. Výsledná délka experimentu byla 35 minut. Při použití vzduchových dýchacích přístrojů byla také překročena maximální únosná teplota, ale ne v takové míře jak u kyslíkových dýchacích přístrojů. Přípustná teplota kůže byla překročena pouze na dvou místech, a to na hrudi a pravé paži. Tyto hodnoty byly překročeny u obou dýchacích přístrojů. Nitrotělní teplota a teplota kůže neustále narůstala z důvodu zamezování termoregulace těla. Tato skutečnost byla zapříčiněna třívrstevným zásahovým oděvem, který nedovoloval odvod tepla z povrchu těla, ale naopak docházelo k jeho akumulaci pod oděvem. Proto je nutné u hasičů po použití dýchacího přístroje při zásahu okamžitě rozepnout tento zásahový oblek, aby došlo k ochlazení těla.

Podle ztráty hmotnosti těla potem a dýcháním lze usoudit, že práce byla při dosahovaných teplotách velmi namáhavá. Naměřené hodnoty podle literatury od prof. Jiráka [2] překračovaly limity u obou typů dýchacích přístrojů. Zato podle normy [14], byly překročeny limity pouze u kyslíkových dýchacích přístrojů. Naproti tomu u vzduchových dýchacích přístrojů byly hodnoty v normě. Při použití kyslíkového dýchacího přístroje, byl zaznamenán větší úbytek tělesné hmotnosti než u vzduchových dýchacích přístrojů. Proto je důležité při zásahu neustále myslet na doplňování tekutin.

U pokusných osob docházelo ke zvýšení srdečních frekvencí během daného typu zátěže, kde zdaleka nedošlo k přesáhnutí maximální tepové frekvence. Během klidové fáze docházelo k opětovnému poklesu srdeční frekvence. To svědčí o dobré trénovanosti pokusných osob.

Výsledné hodnoty zatížení organismu při používání kyslíkového dýchacího přístroje jsou ve všech kritériích větší, než při používání vzduchových dýchacích přístrojů. Pokusné osoby po experimentu samy pociťovaly u kyslíkového dýchacího přístroje mnohem větší únavu a tepelnou zátěž než při používání vzduchového dýchacího přístroje.

## 9. Závěr

Z hodnocení je zjevné, že hasiči, kteří při experimentu podstoupili zátěž v dýchací technice, překročili některé maximální hodnoty. Nesmíme zapomenout, že hasiči jsou také jen lidé a proto platí i pro ně stanovené bezpečnostní limity. Některé hodnoty jsou překročeny již v počáteční fázi jen pouhým nasazením ochranných pomůcek pro zasahující hasiče. Právě z tohoto důvodu se bude stávat, že hasiči budou překračovat při zásazích tyto bezpečnostní limity. Proto jsou hasiči v očích veřejnosti považováni za hrdiny, kteří musí ohrožit své vlastní zdraví, aby zachránili životy druhých.

Tato skutečnost dokazuje, že hasiči musí být v dobré fyzické kondici a v dobrém zdravotním stavu. V případě zdravotní indispozici nebo jakýkoliv změn při zásahu je povinností tohoto hasiče tuto skutečnost neprodleně nahlásit, aby nebylo ohroženo jeho zdraví a případná bezpečnost zasahujících hasičů. Důraz by měl být kladen především na dostatek sil a prostředků u zásahů, aby jednotliví hasiči byli pravidelně střídáni a nedocházelo tak k jejich přetěžování.

Stálo by za zvážení tyto hodnoty experimentálně určit pro zasahující hasiče pro různé věkové kategorie. Jelikož organismus snese mnohem větší zátěž u mladších osob než u osob staršího věku. Tyto hodnoty by byly závazné k ochraně zasahujících hasičů.

## 10. Literatura

### Tištěné monografie:

- [1] LANGMEIER, M., *Základy lékařské fyziologie*. 1. Praha: Grada, 2009, 320 s. ISBN 978-80-247-2526-0.
- [2] JIRÁK, Z., VAŠINA, B., *Fyziologie a psychologie práce*, Reponis, Ostrava, 2009, 2. vydání, 158 s., ISBN 978-80-7368-610-9.
- [3] BENEŠ S., *Technické prostředky – vzduchové dýchací prostředky*, SOŠ PO a VOŠ PO ve Frýdku – Místku, 1. vydání, 2010, 41 s.
- [4] PALEČEK, F., *Patofyziologie dýchání 2.*, Praha: Academia, 1. vydání, 1999, 404 s., ISBN 80-200-0723-7.
- [5] KOLEKTIV AUTORŮ, *Chemická služba*, MV – generální ředitelství HZS ČR, 2012, 1. vydání, 310 s., ISBN 978-80-87544-09-9.
- [6] TROJAN, S., *Lékařská fyziologie*, Grada Publishing s.r.o., Praha, 2003, 1. vydání, 772 s., ISBN 80-247-0512-5.
- [7] SILBERNAGL, S., DESPOPOULOS, A., *Atlas fyziologie člověka*, Grada Publishing s.r.o., Praha, 3. české vydání, 2004, 448 s., ISBN 80-247-0630-X.
- [8] KAJDASZ, Z., *Sposoby prowadzenia akcji ratowniczych w trudnych warunkach mikroklimatu w podziemnych wyrobiskach zakładów gorniczych*, Bytom, 2002, 9 s.
- [9] PLACHETA, Z., SIEGELOVÁ, J., A KOLEKTIV, *Praktická cvičení z klinické fyziologie*, Brno, Masarykova univerzita, 2010, 1. Vydání, 57 s., ISBN 978-80-210-3620-8.
- [10] NV 361/2007 Sb., *kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví zaměstnanců při práci, ve znění pozdějších předpisů*, 2007
- [11] KIRCH, K., *Leistungsanforderungen an Schutzzugträger*, Auer Mitteilungen. Berlin, Bundesrepublik Deutschland, Auergesellschaft, 1984, č. 5., strana 19 – 22.
- [12] KIRCH, K., VOGT-KRISCH, C., *Die Leistungsgrenzen des Menschen beim Tragen von Atemschutz und Schutzzug*, Arbeitsmedizin, Sozialmedizin, Präventivmedizin. Dortmund, Bundesrepublik Deutschland, 1985, č. 12, strana 173 – 176:

### **Normy:**

- [13] ČSN EN ISO 9886 – *Ergonomie – Hodnocení tepelné zátěže podle fyziologických měření*. Český normalizační institut Praha, 2007. 23 s.
- [14] ČSN EN ISO 7933 – *Ergonomie tepelného prostředí – Analytické stanovení a interpretace tepelného komfortu pomocí výpočtu ukazatelů PMV a PPD a kritéria místního tepelného komfortu*. Český normalizační institut Praha, 2005. 35 s.

### **Zdroje na internetu:**

- [15] Limity parciálních tlaků kyslíku. *Potápěčské stránky – vydavatel Zdeněk Šraier*. [online]. [cit. 2015-01-13]. Dostupné z WWW: <http://www.stranypotapecske.cz/teorie/kyslik.asp>
- [16] EVAC – U8. *Brookdale International System*. [online]. [cit. 2015-01-22]. Dostupné z WWW: [http://brookdale.fm.alibaba.com/productshowimg/132615-10031797/EVAC\\_U8\\_Emergency\\_Escape\\_Smoke\\_Hood.html](http://brookdale.fm.alibaba.com/productshowimg/132615-10031797/EVAC_U8_Emergency_Escape_Smoke_Hood.html)
- [17] Filtračně - ventilační jednotka s maskou. *Deluxs*. [online]. [cit. 2015-01-25]. Dostupné z WWW: <http://www.quatrod.cz/tisky/INOVACE%202001-4%20%20PROFLOW%20EX.htm>
- [18] Ochranná masky CM - 6. *Gumárny Zubří*. [online]. [cit. 2015-01-22]. Dostupné z WWW: <http://www.guzu.cz/index.php?view=nbc&display=ochranne-masky-civilni-cm-6&lang=cz>
- [19] BSA – povrch těla. *Medicine simple*. [online]. [cit. 2015-04-01]. Dostupné z WWW: <http://www.mudr.org/web/bsa-povrch-tela>
- [20] Chemický řád HZS ČR, Hasičský záchranný sbor, [online]. [cit. 2015-04-13]. Dostupné z WWW: [www.hzscr.cz/soubor/rad-chemicke-sluzby.aspx](http://www.hzscr.cz/soubor/rad-chemicke-sluzby.aspx)

## Seznam obrázků

Obrázek 1. Dýchací cesty [3].....	5
Obrázek 2. Objem plic [5] .....	6
Obrázek 3. Mechanický výdej tepla [5].....	12
Obrázek 4. Výdej tepla při různých teplotách prostředí [5] .....	12
Obrázek 5. Výměna tepla mezi tepnami a žilami [5] .....	14
Obrázek 6. Schéma rozdělení dýchacích přístrojů.....	15
Obrázek 7. Filtračně - ventilační jednotka s maskou [8] .....	16
Obrázek 8. Filtrační dýchací přístroj s filtrem [9] .....	17
Obrázek 9. Filtry [3] .....	18
Obrázek 10. Evac U8 [7] a Parat maska [3] .....	19
Obrázek 11. Schéma hadicového dýchacího přístroje rovnotlakého a přetlakového [3].....	19
Obrázek 12. Jednostupňový přístroj SATURN [3].....	20
Obrázek 13. Plicní automatika.....	21
Obrázek 14. A) Schéma redukčního ventilu [3], b) je plicní automatika [3] .....	22
Obrázek 15. Schéma přístroje [3] .....	23
Obrázek 16. a) Jednorázový pohlcovač, b) Natronový pohlcovač .....	24
Obrázek 17. Školící výcvikové zařízení - Frýdek Místek .....	26
Obrázek 18. Questemp II -osobní teplotní čidlo.....	29
Obrázek 19. Umístění měřících bodů .....	30
Obrázek 20. Univerzální datologer Almemo 2590 .....	30
Obrázek 21. Rozmístění teplotních čidel na pokusné osobě .....	36

## Seznam tabulek

Tabulka 1. Složení dýchacího ovzduší [2].....	4
Tabulka 2. Limity parciálních tlaků kyslíku [15] .....	10
Tabulka 3. Typy protiplynových a kombinovaných filtrů [5] .....	18
Tabulka 4. Přetlakové vzduchové přístroje používané u HZS [5].....	21
Tabulka 5. Nový časový harmonogram experimentu .....	33
Tabulka 6. Průměrná hodnota teploty kůže - vzduchový dýchací přístroj .....	37
Tabulka 7. Průměrná hodnota teploty kůže - kyslíkový dýchací přístroj .....	37
Tabulka 8. Ztráta tělesné hmotnosti - vzduchový dýchací přístroj .....	38
Tabulka 9. Ztráta tělesné hmotnosti - kyslíkový dýchací přístroj.....	38
Tabulka 10. Srdeční frekvence - vzduchový dýchací přístroj .....	39
Tabulka 11. Srdeční frekvence - kyslíkový dýchací přístroj .....	40



## **Seznam grafů**

Graf 1 Nitrotělní teplota - pokusná osoba č. 1 .....	34
Graf 2. Nitrotělní teplota - pokusná osoba číslo 2 .....	35
Graf 3. Ztráta vody potem a dýcháním .....	38